



Universitat de Lleida

# TRABAJO FINAL DE MÁSTER



**Estudiante:** Cedric Ortiz Pena

**Titulación:** Màster en Enginyeria Industrial

**Título de Trabajo Final de Máster:** Optimización de un elevador de cangilones

**Director/a:** Miquel Nogués Aymamí

Presentación

Mes: Octubre

Año: 2020

Me gustaría agradecer en especial a mi tutor Miquel Nogués, mis compañeros de trabajo Jordi López y Josep Cleries por su ayuda, consejos y ganas de colaborar en mi trabajo final de máster.

Muchas gracias.

## TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Autor: Cedric Ortiz Pena  
Máster: Máster en ingeniería industrial  
Tutor: Miquel Nogués Aymamí

Empresa: Masanés Servindustria S.A.  
Tutor empresa: Jordi López Gispert

Título: *Optimización de un elevador de cangilones*

---

Fecha: 14-10-2020

Número de páginas: 157

Anexos: 3

---

### Resumen

Este trabajo final del máster en ingeniería industrial muestra el proceso a seguir para la realización de un estudio en un elevador de cangilones existente para optimizar su rendimiento.

Las mejoras realizadas permitirán mejorar el rendimiento deseado, así como obtener un conjunto más eficiente y mejorar la seguridad del equipo.

Para la implementación de estas mejoras se ha realizado bajo un proceso meticuloso de cálculo aplicando diferentes conocimientos adquiridos a lo largo de la trayectoria académica, haciendo especial hincapié en los conocimientos adquiridos durante la realización del máster en ingeniería industrial.

Durante el apartado de teoría se describe el funcionamiento de un elevador de cangilones, así como los principales componentes y restricciones encontradas. En el apartado de método se explica el procedimiento empleado para realizar los cálculos y poder obtener los resultados esperados. Más información referente a los componentes podrá ser encontrada en los anexos.

La discusión de los resultados describe diferentes aspectos de los cálculos que permiten evaluar las modificaciones realizadas con el equipo inicial de una manera normalizada.

También se encuentran posibles mejoras para un futuro desarrollo del proyecto.

---

Idioma: Castellano

Palabras clave: elevador, cangilones,  
banda elevadora y sistema de seguridad

---

## Índice

<b>1</b>	<b>INTRODUCCI3N.....</b>	<b>9</b>
1.1	ANTECEDENTES.....	9
1.2	PROP3SITO .....	9
1.3	ALCANCE.....	9
<b>2</b>	<b>TEORÍA.....</b>	<b>10</b>
2.1	INTRODUCCI3N A LOS ELEVADORES DE CANGILONES.....	10
2.2	FUNCIONAMIENTO.....	29
2.3	NORMATIVA .....	30
2.4	SISTEMA DE SEGURIDAD.....	33
2.5	ELEVADOR A ESTUDIAR.....	51
2.6	RESTRICCIONES .....	58
2.7	ANÁLISIS DE LOS DATOS POSTERIORES.....	60
<b>3</b>	<b>MÉTODO.....</b>	<b>70</b>
3.1	GENERAL .....	70
3.2	OPTIMIZACI3N DE LOS CANGILONES.....	72
3.3	ELEMENTOS MOTRICES.....	72
3.4	ELECCI3N DE LA BANDA ELEVADORA .....	81
3.5	ELEMENTOS SEGURIDAD.....	83
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>85</b>
4.1	GENERAL .....	85
4.2	CANGILONES .....	85
4.3	BANDA ELEVADORA .....	86
4.4	ELEMENTOS MOTRICES.....	86
4.5	ELEMENTOS SEGURIDAD.....	89
<b>5</b>	<b>DISCUSI3N DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>90</b>
5.1	COMPARATIVA CON REQUERIMIENTOS PREVIOS.....	91
5.2	CUMPLIMIENTO NORMATIVAS .....	94
5.3	POSIBLES MEJORAS .....	95
5.4	CONCLUSIONES .....	97
<b>6</b>	<b>PRESUPUESTO.....</b>	<b>98</b>
<b>7</b>	<b>PLIEGO DE CONDICIONES .....</b>	<b>100</b>
7.1	NORMATIVA UTILIZADA .....	100
7.2	CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE USO DE LOS COMPONENTES EXISTENTES EN EL ELEVADOR DE CANGILONES .....	102
<b>8</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>105</b>
<b>9</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>108</b>
9.1	ANEXO 1 – PLANOS .....	109
9.2	ANEXO 2 – ELEMENTOS MOTRICES.....	121
9.3	ANEXO 3 – SISTEMA DE SEGURIDAD.....	134



## Abreviaciones

Abreviación	Descripción
$K_{ST}$	Explosividad material
$O_1$	Centro tambor motriz
$O_2$	Centro tambor reenvío
$P_{MAX}$	Presión máxima de explosión
$P_{RED,MAX}$	Presión máxima reducida de explosión
$P_{SAT}$	Presión estática de apertura de venteo
A	Largo cangilón
B	Proyección cangilón
C	Profundidad cangilón
C.S.	Coefficiente de seguridad
D	Altura labio frontal cangilón
E	Diámetro taladros tornillos cangilón
F	Distancia entre centros taladros cangilón
F.S.	Factor servicio motor eléctrico
G	Distancia entre centro taladro y extremo espalda cangilón
T	Espesor cangilón
Z2	Volumen total cangilón
Z3	Volumen de agua cangilón

## Terminología

Notaci3n	Descripci3n	Unidades
$\varnothing_{ETM1}$	Diámetro eje uni3n reductor	<i>m</i>
$\varnothing_{ET1}$	Diámetro eje tambor motriz	<i>m</i>
$\varnothing_{ET2}$	Diámetro eje tambor reenvío	<i>m</i>
$\varnothing_{T1}$	Diámetro tambor motriz	<i>m</i>
$\varnothing_{T2}$	Diámetro tambor reenvío	<i>m</i>
$A_B$	Ancho banda elevadora	<i>m</i>
$A_{BU}$	Ancho banda elevadora útil	<i>m</i>
$A_{PV}$	Área venteo panel	<i>m</i> <sup>2</sup>
$A_V$	Área de venteo	<i>m</i> <sup>2</sup>
$A_{VT}$	Área de venteo total	<i>m</i> <sup>2</sup>
$b_{CH}$	Ancho chaveta	<i>mm</i>
$B_V$	Coeeficiente área venteo	-
$C_D$	Coeeficiente dragado	-
$C_V$	Coeeficiente área venteo	-
$C_\sigma$	Factor servicio carga por unidad de longitud	-
$d_C$	Paso entre cangilones	<i>m</i>
$D_{CT}$	Distancia entre centros tambores	<i>m</i>
$D_E$	Diámetro equivalente zona venteo	<i>m</i>
$e_T$	Espesor tambor motriz	<i>m</i>
$F_{CH}$	Fuerza aplicada en la chaveta	N
$F_D$	Fuerza dragado total	N
$F_{D1}$	Fuerza dragado por columna del material	N
$F_{D2}$	Fuerza dragado por resistencia del material	N
$F_{LL}$	Factor llenado	-
$F_R$	Fuerza resultante sobre la partícula	N
<i>g</i>	Valor gravedad en la tierra	<i>m/s</i> <sup>2</sup>
$h_{CH}$	Altura chaveta	<i>mm</i>
$L_1$	Longitud tramo 1 del tambor motriz	<i>m</i>
$L_2$	Longitud tramo 2 del tambor motriz	<i>m</i>
$L_3$	Longitud tramo 3 del tambor motriz	<i>m</i>
$l_{ACH}$	Longitud chaveta fallo por aplastamiento	<i>mm</i>
$L_B$	Longitud banda	<i>m</i>
$l_{CCH}$	Longitud chaveta fallo por cizallamiento	<i>mm</i>
$l_{CH}$	Longitud chaveta	<i>mm</i>
$L_E$	Longitud equivalente zona venteo	<i>m</i>
$M_1$	Par tambor motriz	<i>Nm</i>
$M_2$	Par tambor reenvío	<i>Nm</i>
$m_C$	Massa cangil3n vacío	<i>kg</i>
$M_M$	Par motor eléctrico	<i>Nm</i>
$M_{MA}$	Par arranque motor eléctrico	<i>Nm</i>

$M_{MR}$	Par motor-reductor	$Nm$
$n_{C/m}$	Número de cangilones por metro	-
$n_1$	Número cangilones llenos de material	-
$n_2$	Número cangilones vacíos	-
$n_3$	Número cangilones dragando	-
$n_A$	Número zonas de venteo	-
$n_c$	Número cangilones totales	-
$n_E$	Número taladros por cangilón	-
$n_{PVC}$	Número paneles de venteo en caña elevador	-
$n_{PVH}$	Número paneles de venteo en cabeza elevador	-
$n_{PVT}$	Número paneles de venteo totales	-
$n_{SCH}$	Coeficiente seguridad chaveta	-
$P_1$	Peso cangilones llenos de material	$N$
$P_2$	Peso cangilones vacíos	$N$
$POT_1$	Potencia tambor motriz	$W$
$POT_M$	Potencia motor eléctrico	$W$
$Q_D$	Capacidad deseada	$T/h$
$R_{T1}$	Radio tambor motriz	$m$
$R_{T2}$	Radio tambor reenvío	$m$
$RA_Y$	Fuerza vertical sobre el soporte A del tambor motriz	$N$
$RB_Y$	Fuerza vertical sobre el soporte B del tambor motriz	$N$
$S_C$	Superficie dragado	$m^2$
$T_0$	Tensión inicial banda elevadora	$N$
$T_1$	Tensión ramal entrante banda elevadora	$N$
$T_2$	Tensión ramal saliente banda elevadora	$N$
$T_{MAX}$	Tensión máxima	$N$
$v_B$	Velocidad banda elevadora	$m/s$
$V_C$	Volumen cangilón en agua	$m^3$
$V_E$	Volumen equivalente zona venteo	$m^3$
$X_E$	Ancho caña elevador	$m$
$Y_E$	Largo caña elevador	$m$
$\zeta_{TMAX}$	Momento torsor máximo	$N/mm^2$
$\eta_M$	Rendimiento motor	-
$\eta_{MR}$	Rendimiento motor-reductor	-
$\eta_R$	Rendimiento reductor	-
$\eta_V$	Eficiencia venteo	-
$\eta_V$	Eficiencia venteo	-
$\rho_{ACERO}$	Densidad acero S 275	$kg/m^3$
$\rho_P$	Densidad producto a elevar	$kg/m^3$

$\sigma_1$	Carga distribuida en el tramo1 del eje tambor motriz	$N/m$
$\sigma_2$	Carga distribuida en el tambor motriz	$N/m$
$\sigma_3$	Carga distribuida en el tramo 3 del eje tambor motriz	$N/m$
$\sigma_{ACH}$	L3mite el3stico acero chaveta fallo por aplastamiento	$N/mm^2$
$\sigma_{ADM\ ACERO}$	L3mite el3stico acero	$N/mm^2$
$\sigma_B$	Carga por unidad de longitud banda elevadora	$N/mm$
$\sigma_C$	Carga por unidad de longitud banda elevadora calculada	$N/mm$
$\sigma_{CCH}$	L3mite el3stico acero chaveta fallo por cizallamiento	$N/mm^2$
$\sigma_{FMAX}$	Momento flector m3ximo	$N/mm^2$
$\sigma_{MCH}$	Carga rotura acero chaveta	$N/mm^2$
$\sigma_N$	Esfuerzo axial	$N/mm^2$
$\sigma_{SCH}$	L3mite el3stico acero chaveta	$N/mm^2$
$\sigma_{VM}$	Tensi3n de Von-Mises	$N/mm^2$
$\omega_1$	Velocidad angular tambor motriz	$rad/s$
$\omega_2$	Velocidad angular tambor reenv3o	$rad/s$
$\omega_M$	Velocidad angular motor el3ctrico	$rad/s$
$\beta$	Angulo abrazado tambor motriz	$rad$
$\mu$	Coeeficiente fricci3n tambor motriz	-
$\tau$	Relaci3n de transmisi3n	-

# 1 Introducción

Este trabajo de final de máster describe la optimización de un elevador de cangilones existente con unos requerimientos establecidos. Las diferentes modificaciones a realizar permitirán ampliar la capacidad de elevación del elevador, prestaciones generales, incrementar su eficiencia e incorporar un sistema de seguridad magnético y electrónico para su monitorización constante.

## 1.1 Antecedentes

Los elevadores de cangilones son el mecanismo más empleado para el transporte vertical de diferentes materiales, ya sean a granel, secos, húmedos e incluso pastosos.

Estos elementos están diseñados con amplias opciones de configuración en altura, velocidad y detalles constructivos que los hacen únicos según el material que tienen que elevar. Su utilización se encuentra en un amplio número de industrias muy variadas.

## 1.2 Propósito

El propósito de este trabajo final de máster es el de investigar, optimizar y analizar diferentes soluciones para mejorar las prestaciones de un elevador de cangilones, así como implementar un sistema de seguridad.

Todos los cálculos se basarán en información extraída de diferentes bibliografías, experimentos realizados en la empresa colaboradora e información proveniente de los diferentes proveedores existentes. Finalmente se realizará un programa de cálculo para poder realizar los cálculos de forma automática en función de los requerimientos de cada instalación a estudiar.

En este trabajo final de máster solamente se estudiará una instalación en concreto.

## 1.3 Alcance

Este trabajo final de máster es solo relevante para los diferentes modelos de cangilones SPS del fabricante Braime y los diferentes modelos de banda elevadora fabricados por Refortbelt.

El alcance de este estudio no contempla ningún diseño de elementos electrónicos, ni las características mecánicas y de fatiga de cualquier elemento empleado.

## 2 Teoría

Conforme a la optimización de un elevador de cangilones a realizar en este trabajo final de máster, la teoría se centra en los diferentes apartados descritos a continuación.

### 2.1 Introducción a los elevadores de cangilones

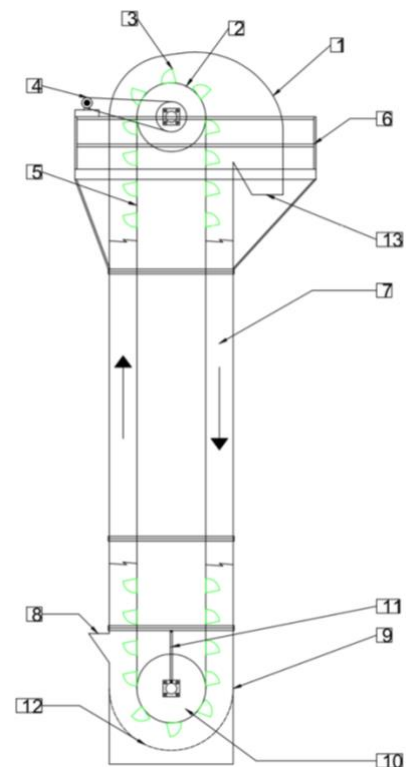
El elevador de cangilones es una máquina fundamental en plantas donde se manipula una extensa variedad materiales a granel como granos, fragmentos pequeños, talcos granulados, entre otros, y se requiere un transporte continuo sin interrupciones en las tareas de carga y descarga.

Se definen como máquinas de transporte continuo. [1]

Los sectores más comunes donde se implementan estos dispositivos son en la industria de la alimentación, especialmente en el almacenamiento agrícola, también en la industria química, metalúrgica y en la construcción de maquinaria.

Las ventajas que ofrece un elevador de cangilones son muy diversas y variadas, las más importantes son las siguientes:

- Amplios caudales de elevación.
- Grandes alturas de elevación.
- Facilita la carga y descarga de materiales.
- Estructura liviana con un desgaste mínimo y mantenimiento sencillo.
- Bajo consumo de energía.
- Produce poco ruido.
- Montaje y construcción simples.



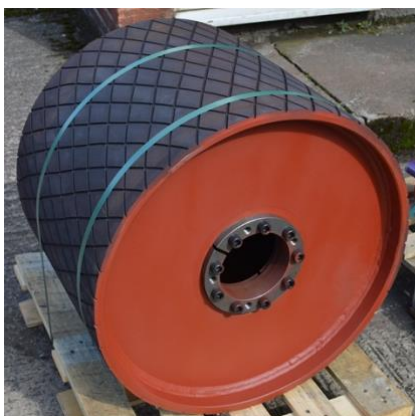
*Ilustración 1: Elementos de un elevador de cangilones*

Por otra parte, son muy sensibles a las sobrecargas que se puedan producir.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, dichos elevadores ofrecen muchas ventajas, presentando un excelente rendimiento general, pero es fundamental que se elija el elevador que reúna las características que lo hagan adecuado al tipo de uso necesario.

Para poder determinar qué elementos y características son necesarias para nuestra aplicación a estudiar, los elementos y características más importantes son las siguientes:

- Cabeza del elevador (1): Es el elemento situado en la parte superior del elevador y tiene como propósito soportar el peso del motor-reductor y del tambor motriz. Consiste en una estructura metálica fabricada con un perfil específico que se adapta a la trayectoria del material, que permite facilitar la descarga del material hacia la boca de descarga, siendo esta la principal característica de su diseño.
- Tambor motriz (2): Es el elemento encargado de transmitir la potencia del motor-reductor a la banda elevadora o cadena. Está situado en la cabeza del elevador.



*Ilustración 2: Tambor motriz elevador de cangilones*

Esta diseñado con una conicidad de  $1^\circ$  a  $1,5^\circ$  en la parte central para poder centrar la banda elevadora de forma automática.

Para poder determinar que tipo de tambor se adecua más a nuestras necesidades se deberá determinar si el tambor dispone de recubrimiento y las condiciones de trabajo. Estos datos determinan el coeficiente de fricción del tambor, su función será explicada en el apartado 3.2 más adelante. [2]–[6]

Los diferentes valores de coeficiente de fricción en función del recubrimiento y el estado de la superficie, se recogen en la tabla 1:

*Tabla 1: Valores coeficiente fricción ( $\mu$ ) tambor motriz*

Superficie tambor	Sin recubrimiento	Con recubrimiento
Alta adherencia	0,35	0,45
Seca	0,35	0,4
Húmeda	0,2	0,35
Mojada	0,2	0,3

Otra funci3n muy importante es evitar el giro del elevador en el sentido contrario al de giro cuando el elevador no esta funcionando, para prevenir un accidente en el elevador y en sus alrededores.

Esta acci3n se realiza instalando una rueda libre con palanca en el eje del tambor motriz. Es un elemento de bloqueo equipado con un cojinete de deslizamiento que permite el giro en una 3nica direcci3n siempre que el elevador este cargado de material. [7]



*Ilustraci3n 3: Rueda libre con palanca*

Para las tareas de mantenimiento, estando el elevador este sin carga, se podr3 girar manualmente la banda elevadora en ambos sentidos.

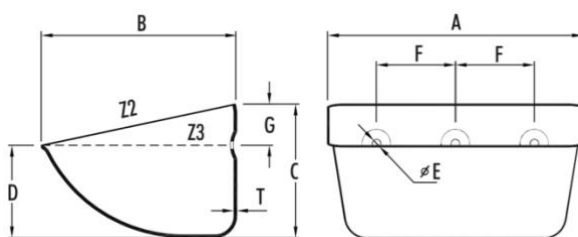
Otro elemento muy importante en el tambor es el eje. Dicho elemento deber3 soportar el propio peso de los elementos que lo componen, as3 como las fuerzas que act3an sobre 3l.

- o Cangil3n (3): Es el recipiente encargado de transportar el material durante su elevaci3n.

El tama1o y el perfil de los cangilones est3n normalizados por los fabricantes y su elecci3n depende de la naturaleza del producto a elevar y de la producci3n deseada. [8]

Existen casos en los que debido al producto y los requerimientos de la instalaci3n es necesario realizar cangilones a medida, estos se denominan electro soldados ya que acostumbran a ser realizados mediante piezas met3licas soldadas entre ellas.

¿Qu3 medidas definen un cangil3n?



Las dimensiones que definen un cangil3n son principalmente el largo (A), la proyecci3n (B), la profundidad (C), la altura hasta el labio frontal (D) y el grosor del material (T).



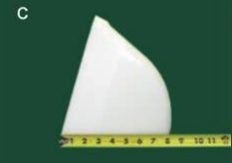


*Ilustraci3n 4: Dimensiones cangil3n*

Hay otras medidas que se usan para acabar de determinar el modelo exacto de cangil3n para cada instalaci3n, todo y que la mayor3a de ellas est3n estandarizadas. Estas dimensiones son el di3metro de los agujeros para los tornillos (E), la distancia entre centro de taladros (F) y la distancia entre el centro de taladros y el extremo de la espalda del cangil3n (G).



## ¿Cómo tomar las medidas?

Tabla 2: Como medir un cangilón

				
Con la espalda del cangilón plana, medir la longitud total.	Con la espalda del cangilón plana, medir la proyección horizontal.	Con la espalda del cangilón plana, medir la profundidad de la parte trasera.	Con la espalda del cangilón vertical, medir la profundidad hasta el labio frontal.	Usando un pie de rey, medir el espesor del cangilón.

Uno de los datos más importantes para la elección de un cangilón, es su capacidad. Se pueden encontrar dos capacidades:

- Z2: Esta es la capacidad total del cangilón. Solo se puede alcanzar con productos granulares como los cereales, ya que se necesita que el producto forme un acopio sobre el límite del labio frontal. Ver ilustración 4.
- Z3: Es la capacidad del cangilón hasta el labio frontal. Ver ilustración 4.

## ¿Cómo se clasifican los cangilones?

Principalmente se clasificarán en función del material a transportar, en 3 grupos:

- Cangilones profundos: Utilizados para el transporte de material que no se apelmaza, como los cereales.

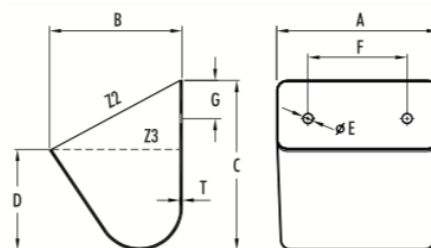
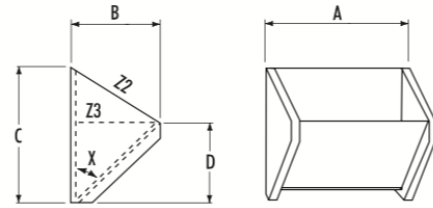


Ilustración 5: Dimensiones cangilón profundo

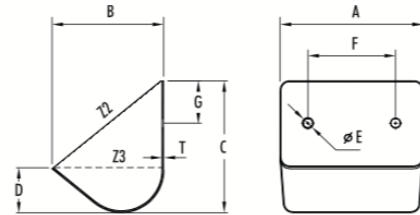
En la mayoría de los casos estos cangilones tienen un labio de refuerzo en la zona de carga del borde delantero y en las esquinas, confiriendo una mayor resistencia a la deformación y al desgaste cuando se cargan materiales abrasivos, pesados o arenosos.

- Cangilones de escama: Utilizados en los elevadores con descarga por gravedad, utilizando la parte inferior del cangilón precedente como canal de descarga. Las escamas ayudan a guiar el producto hacia la boca de descarga.



*Ilustración 6: Dimensiones cangilón escama*

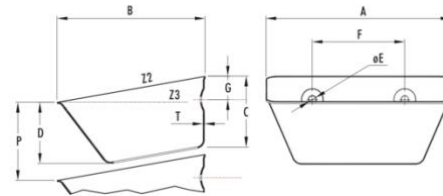
- Cangilones poco profundos: Utilizados para el transporte de materiales que se apelmazan o están húmedos, como la arcilla húmeda.



*Ilustración 7: Dimensiones cangilón poco profundo*

Dentro de este grupo también se encuentran los cangilones sin fondo.

Estos se caracterizan por una separación entre cangilones mínima. Intercambiando un número determinado de cangilones sin fondo con uno de las mismas medidas con fondo, se consigue formar una columna de material que permite diseñar elevadores de menor dimensiones para una misma capacidad de elevación.



*Ilustración 8: Dimensiones cangilón sin fondo*

¿C3mo se sujetan a la banda elevadora?

El elemento de sujeci3n entre los cangilones y la banda elevadora debe garantizar que se realiza de forma segura, ya que se deben adaptar a los tambores existentes en la instalaci3n evitando rozaduras y fricciones que puedan provocar daos en el elevador, como se explica m3s adelante en el apartado 2.4.

Dicha uni3n se realiza mediante tornillos segun la normativa DIN 15237, como mencionado en el apartado 2.4. Estos tornillos presentan unas caracteristicas de diseo, que mejoran su rendimiento. Incorporan una cabeza c3ncava que permite acomodar la cabeza del tornillo y evitar que sobresalga sobre la banda elevadora, dos orejas en la parte inferior para ayudar a prevenir la rotaci3n al apretar y la opci3n de emplear una arandela c3nica que permite la perfecta adaptaci3n en el caso de los cangilones con agujeros embutidos. [9], [10]

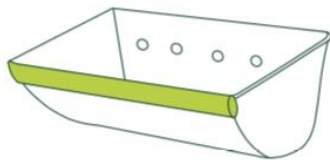


*Ilustraci3n 9: Diferentes diseos de tornillos para elevadores de cangilones*

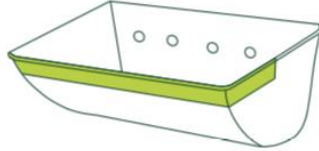
¿Qué tipos de refuerzos existen?

La implementación de un refuerzo en una o varias zonas del cangilón va directamente relacionado con el tipo de material a elevar. En función de la abrasión del material, si contiene líquidos o si tienen una gran densidad.

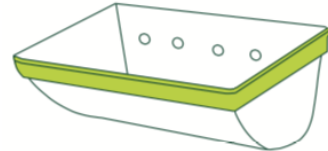
Los tipos de refuerzos que se pueden encontrar son los siguientes:



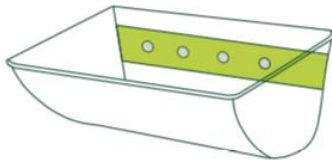
**Refuerzo en la parte frontal**



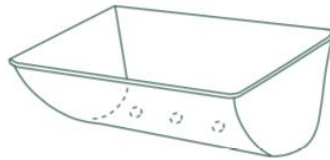
**Refuerzo en la parte frontal y parcial en los laterales**



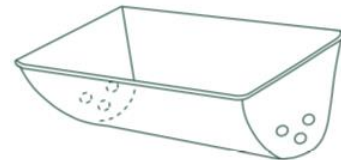
**Refuerzo en la parte frontal y completo en los laterales**



**Chapa de refuerzo posterior**



**Orificios inferiores de drenaje**



**Orificios laterales de drenaje**

*Ilustración 10: Refuerzos cangilón*

¿De qué materiales están fabricados?

Los materiales más usados son el acero dulce, el acero inoxidable AISI-304 y AISI-316, nylon 6, nylon reforzado, HDP, poliuretano y nyrin.

La aplicación para la cual se utilice el cangilón va a ser la principal limitante del material.

A continuaci3n, se muestran las diferentes aplicaciones para los materiales mencionados.

Tabla 3: Aplicaciones cangilones en funci3n del material

Acero dulce	Inoxidable AISI-304	Inoxidable AISI-316	Nyrim
Aplicaciones generales, larga duraci3n, cereales y productos industriales	Alimentos, productos corrosivos y con alta temperatura.	Alimentos, productos corrosivos y con alta temperatura.	Productos industriales muy abrasivos y de alto impacto.
Poliuretano	HDP	Nylon 6	Nylon reforzado
Productos afilados, cortantes y pegajosos.	Cereales y productos alimenticios	Productos calientes, abrasivos y pegajosos.	Productos industriales calientes, muy abrasivos y pegajosos

Otros criterios a tener en cuenta para la elecci3n del material, son las propiedades del material del cangil3n:

Tabla 4: Propiedades materiales cangilones

Propiedad	Acero dulce	Inoxidable AISI-304	Inoxidable AISI-316	HDP	Nylon 6	Nylon reforzado	Poliuretano	Nyrim
Coste	1	3	4	1	2	3	4	4
Resistencia al desgaste	3	4	4	1	2	3	3	4
Resistencia al impacto	2	2	2	1	2	3	2	4
Antiadherente	1	3	3	2	3	3	4	3
Certificaci3n alimentaria	X	√	√	√	√	√	X	X
Temperatura Max. Trabajo (°C)	180	250	250	70	100	150	60	110
Temperatura Max. Pico (°C)	200	400	400	80	120	170	70	130
Color	Gris	Plata	Plata	Blanco	Crema	Beige / Verde	Verde	Gris oscuro
Siendo 1=bajo y 4=alto								

- Motor-reductor (4): Conjunto formado por dos elementos, un motor el3ctrico y un reductor. Es el encargado de dar potencia y par necesarios para mover el 3rgano tractor mediante el tambor motriz. [4], [11]–[13]

Existen diferentes tipos de reductores, a continuaci3n, se muestran los m3s comunes:

- Corona sin fin:

Transmite el movimiento entre ejes perpendiculares entre si mediante un mecanismo de dos piezas, un tornillo con dentado helicoidal y un engranaje denominado “corona”.

Tienen un tama1o compacto, no permite reversibilidad en la gran mayoria de los modelos debido al uso de grandes reducciones, siendo su rendimiento bajo comparado con otros tipos de reductores.



*Ilustraci3n 11: Reductor corona sin fin*

- Coaxial:

Utilizados para transmitir movimiento entre dos ejes paralelos y cercanos, ya que el eje de entrada y el de salida est3n alineados. Para potencias fraccionadas o medianas.



*Ilustraci3n 12: Reductor coaxial*



*Ilustraci3n 13: Reductor ortogonal*

- Ortogonales:

Formado por ejes ortogonales como bien indica su nombre, los ejes de entrada y salida forman 90° entre ellos. Dispone de factores de servicio (F.S.) mayores que el reductor corona sin fin.

- Ejes paralelos:**  
 Es un reductor ortogonal, pero con la característica de tener los ejes de entrada y salida paralelos entre ellos.



*Ilustración 14: Reductor ejes paralelos*

- Pendulares:**  
 El eje de salida va en trayectoria pendular al eje de entrada. En la mayoría de sus aplicaciones se realiza una transmisión por correa entre el motor y el reductor.



*Ilustración 15: Reductor pendular*

Para poder comparar los diferentes modelos de reductores de forma correcta, se debería fijar en diferentes parámetros, pero los más importantes son el rendimiento y el factor de servicio (F.S.).

En la siguiente tabla se muestra el rendimiento del reductor ( $\eta_R$ ) en función del tipo de elementos que componen la transmisión del movimiento.

*Tabla 5: Rendimiento reductores*

Tipo reductor	Corona sin fin	Engranajes helicoidales	Engranajes rectos	Polea
Rendimiento $\eta_R$	0,7	0,95	0,9	0,94

El siguiente elemento a tener en cuenta es el factor de servicio.

Este valor determinara el factor multiplicador entre la potencia m3xima que puede soportar el motor-reductor y la potencia que se est3 aplicando a 3l de forma continua o bien en condiciones nominales de funcionamiento de uso en la instalaci3n.

Dicho factor permite cuantificar la influencia de las condiciones externas sobre el funcionamiento del motor-reductor.

En el caso particular de este proyecto se tendr3n dos factores de servicio, el proveniente del motor el3ctrico y el proporcionado por el fabricante reductor. El en casco del factor de servicio del motor el3ctrico, es explicado en el apartado 3.3.

En la pr3ctica, es dif3cil que un motor-reductor realice su trabajo en condiciones id3neas, ya que durante el proceso de c3lculo elementos como los rodamientos se dimensionan como elementos que no ejercen ninguna resistencia al movimiento o factores como la acumulaci3n de material en los elementos m3viles que dificultan su movimiento. Se debe destacar, que en motores el3ctricos es que su rendimiento disminuye con cargas inferiores al 50%

Por lo tanto, la potencia requerida por la m3quina accionada debe multiplicarse por un factor de servicio, que considera las caracter3sticas espec3ficas del trabajo a realizar y potencia resultante, siendo esta empleada para determinar el tama1o del reductor en las tablas de selecci3n.

Para condiciones especiales como altas frecuencias de arranque-parada o de inversiones del sentido de marcha en el motor, alta humedad o temperatura ambiente y construcciones o aplicaciones especiales, es conveniente tener en cuenta del factor de servicio para poder terminar la potencia a gestionar por el reductor correctamente.

En la siguiente tabla se puede ver la relaci3n entre las horas de funcionamiento al d3a y el tipo de carga ejercida sobre el motor-reductor para determinar el factor de servicio aconsejado.

*Tabla 6: Factores de servicio en motor-reductores*

Tipo motor el3ctrico	Horas/d3a	Tipo de carga		
		Uniforme	Media	Con choques
Entrada constante	2	0,9	1,1	1,5
	10	1	1,25	2,75
	24	1,25	1,5	2
Entrada impulsiva / no constante	2	1	1,35	1,75
	10	1,25	1,5	2
	24	1,5	1,75	2,5



- Órgano tractor (5): Elemento encargado transmitir el movimiento proporcionado por el tambor motriz y sustentar los cangilones. [2]–[4], [14]–[18]

Este órgano tractor puede ser una cadena o una banda elevadora. La elección entre un sistema u otro va a depender de las prestaciones del elevador y del material.

Principalmente se usarán cadenas si se pretende transportar materiales abrasivos, sometidos a alta temperatura y de gran tamaño. El uso de la cadena permite obtener una mayor altura de elevación, pero la velocidad de desplazamiento es menor a la obtenida con la banda elevadora.

Las principales ventajas de la banda elevadora respecto a la cadena son las siguientes:

- |  |   |
|--|---|
| ▪ Menor desgaste                             | ▪ Más adecuada para el transporte de ciertos productos, como la harina o el carbón. |
| ▪ Funcionamiento silencioso                  | ▪ Velocidades de desplazamiento elevadas  |
| ▪ Capacidad específica de transporte elevada | ▪ Mayor resistencia transversal que la cadena                                       |
| ▪ Consumo menor de energía                   |   |

El órgano tractor, es uno de los componentes imprescindibles dentro de un elevador de cangilones.

En el caso de la banda elevadora, existen dos maneras de empalmar los dos extremos de la banda elevadora.

- Empalme en caliente: Mediante el uso de una prensa de calor, se obtienen empalmes resistentes y de larga duración a través del calor y la presión o la unión química para obtener un empalme continuo en obra.
- Grapa: Es la opción más común para un elevador de cangilones, ya que pueden soportar mayores tensiones en la banda elevadora. Los dos extremos de la banda elevadora son unidos mediante presión por dos piezas metálicas que han sido previamente mecanizadas para adaptarse a la perfección y evitar que se escape la banda elevadora.

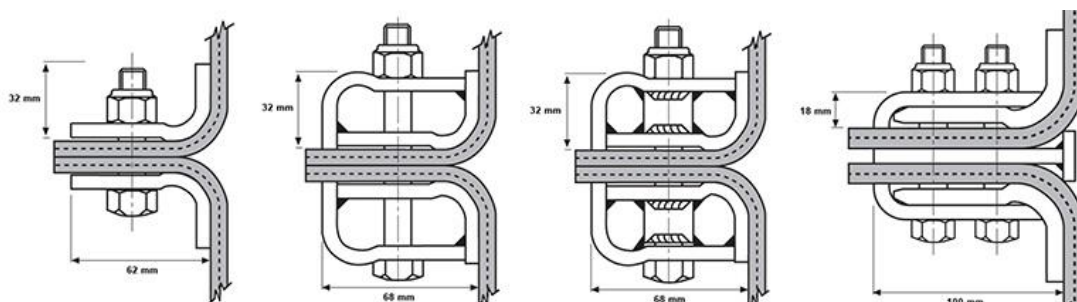


Ilustración 16: Diferentes tipos de grapas

Un extremo de la grapa debe ser completamente liso para que se adapte a la perfección a los tambores existentes en la instalación. La unión entre las dos piezas metálicas se realiza con tornillos. [ilustración 16]

Los diferentes tipos de bandas elevadoras se diseñan y fabrican bajo la normativa DIN22102 todo y presentar diferentes propiedades y características, según cada requerimiento.

Para poder elegir la banda elevadora correcta, es preciso conocer las características de las bandas existentes y como se clasifican.

- Según el número de telas:

Tabla 7: Tensiones de la banda elevadora en función del número de telas

Nº de telas	2	3	4	5
Tipo de tela	Tensiones de la banda (N/mm)			
EP125	250	400	500	630
EP160	315	500	630	800
EP200	400	600	800	1000
EP250	500	750	1000	1250
EP315	630	1000	1250	1600
EP400	800	1200	1600	2000
EP500	1000	1500	2000	2500
EP600	1600	2400	3200	4000

- Según sus propiedades físicas:

Tabla 8: Propiedades banda elevadora en función del tipo de recubrimiento

Tipo de placas de cubierta	Resistencia a la tracción (N/mm <sup>2</sup> ) mínima	Alargamiento del caucho (%) mínimo	Abrasión (mm <sup>3</sup> ) máximo
N	17	400	160
Y	20	400	150
X	25	450	120
W	18	400	80
MOR	15	450	160
OR	12	300	200
HEAT	15	400	150
HI-HEAT	10	400	150
K	20	400	150
S	20	400	150

- Según el diámetro mínimo del tambor:

Tabla 9: Diámetro mínimo banda elevadora según el número de telas

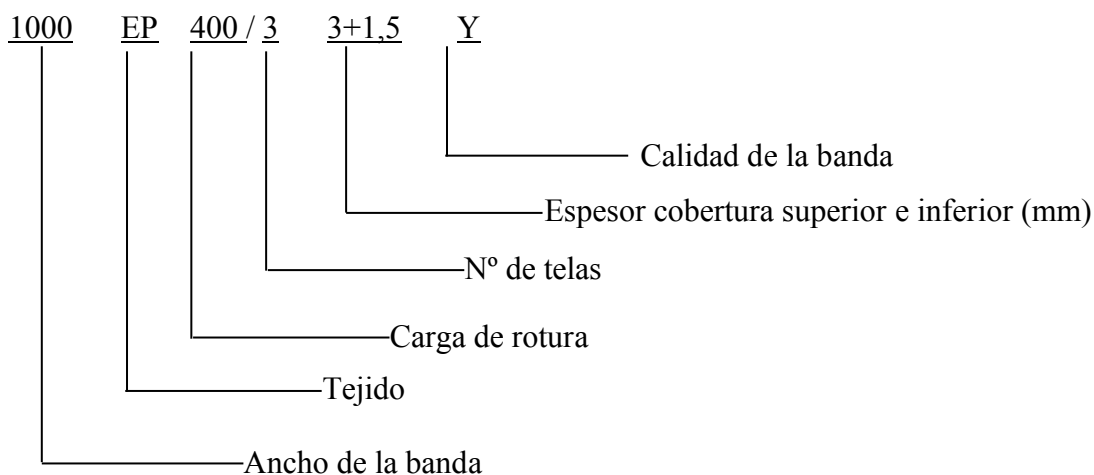
Nº de telas		3	4	5
Tipo de banda	Tipo de tela	Diámetro del tambor motriz		
EP	EP125	250	315	400
	EP160	316	400	500
	EP200	500	630	800
	EP250	630	800	1000
	EP315	800	1000	1250
	EP400	800	1000	1250

¿Cómo se describe una banda transportadora?

Tabla 10: Propiedades banda elevadora en función del tipo

Tipos	Normas	Propiedades
N	DIN22102 N	Resistente a la abrasión, apta para transportar materiales pesados bajo condiciones de trabajo normales. Abrasión 160 mm <sup>3</sup> .
Y	DIN22102 Y	Resistente a la abrasión, apta para transportar materiales pesados bajo condiciones de trabajo normales. Abrasión 150 mm <sup>3</sup> .
X	DIN22102 X ISO10247 H	Alta resistencia a la abrasión, cortes y arañazos profundos. Apta para materiales pesados, cortantes, aterronados. Abrasión 120 mm <sup>3</sup> .
W	DIN22102 W ISO10247 D	Súper-resistencia al desgaste. Gránulos altamente abrasivos. Temperaturas de -60°C/+70°C. Abrasión 80 mm <sup>3</sup> .
MOR	DIN22102 G	Banda transportadora moderadamente resistente a los aceites animales y vegetales. Abrasión 160 mm <sup>3</sup> .
OR	DIN22102 G	Alta resistencia a aceites minerales. Abrasión 200 mm <sup>3</sup> .
HEAT	DIN22102 ISO4195	Apta para transportar cargas a una temperatura máxima de 150°C de manera continua. Abrasión 150 mm <sup>3</sup> .
HI-HEAT	DIN22102	Apta para transportar cargas a temperatura de 200°C. Puede resistir, por un corto periodo de tiempo, temperaturas de más de 220°C. Abrasión 150 mm <sup>3</sup> .
YK	DIN22102 K	Recomendada para aplicaciones donde se deba eliminar el riesgo de incendio o explosión. Abrasión 150 mm <sup>3</sup> .
YS	DIN22102 S ISO433 S	Apta para transporte de materiales con riesgo de incendio o explosión. Recomendada para trabajos en interiores de minas o túneles. Abrasión 150 mm <sup>3</sup> .

¿Cómo se denomina una banda elevadora?



¿Qué tipos de bandas elevadoras existen?

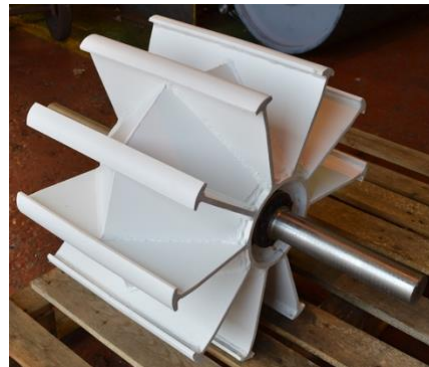
Tabla 11: Bandas elevadoras existentes Refortbelt

Tipos	Propiedades	Temperatura	ATEX
EP 630/3 1,5+1,5 KG	CR/SBR/BR anti-llama, anti-grasa, antiestática	-15°C a +80C°	√
EP 800/4 2+2 KG	CR/SBR/BR anti-llama, anti-grasa, antiestática	-15°C a +80C°	√
EP 1000/5 2+2 KG	CR/SBR/BR anti-llama, anti-grasa, antiestática	-15°C a +80C°	√
EP1250/5 2+2 KG	CR/SBR/BR anti-llama, anti-grasa, antiestática	-15°C a +80C°	√
EP 800/4 2+2 OR	NBR, anti-grasa, antiestática	-20°C a +100C°	X
EP 800/4 2+2 HEAT	SBR, antiestática, temperatura	-20°C a +150C°	X
EP 800/4 2+2 HI-HEAT	EPDM, antiestática, temperatura	-40°C a +200C°	X
EP 1250/5 2+2 Y	SBR, antiestática, anti-abrasiva	-30°C a +70C°	X

- Plataforma de servicio (6): Esta estructura permite el acceso para realizar las labores de mantenimiento en la cabeza del elevador.
- Caña (7): Formada por una estructura metálica que tiene como propósito proteger los elementos del elevador y dar rigidez al conjunto. Existen dos tipos de cañas, las simples que contienen el ramal ascendente y el descendente dentro de un solo conjunto, y las dobles, que contienen cada ramal por separado.

Su diseño en forma de rectángulo se compone de dos dimensiones, el ancho de la caña ( $X_E$ ) y el largo de la caña ( $Y_E$ ).

- Boca de carga (8): Abertura o conducto situado en el pie del elevador el cual permite la entrada del material a elevar des de el exterior al interior del elevador. Su diseño es importante para determinar el tipo de descarga, explicado más adelante.
- Pie del elevador (9): Es el elemento situado en la parte inferior del elevador y tiene como propósito albergar la boca de carga, el tensor del órgano tractor, el tambor de reenvío y el liner.
- Tambor reenvío (10): Elemento encargado de realizar el reenvío de la banda elevadora o de la cadena. También es el elemento sobre el cual actúa el tensor. Está situado en el pie del elevador. Esta diseñado con una conicidad de  $1^\circ$  a  $1,5^\circ$  en la parte central para poder centrar la banda elevadora de forma automática. [2]–[6]



*Ilustración 17: Tambor reenvío jaula de ardilla*

En la gran mayoría de elevadores se utiliza el diseño de jaula de ardilla, ya que permite que el material no se quede entre la banda elevadora y el tambor, facilitando la limpieza y durabilidad de la banda elevadora.

- Tensor (11): Mecanismo encargado de tensar la banda elevadora para poder proporcionar una tensión correcta de trabajo. Está situado en el pie del elevador, actuando sobre el tambor de reenvío.

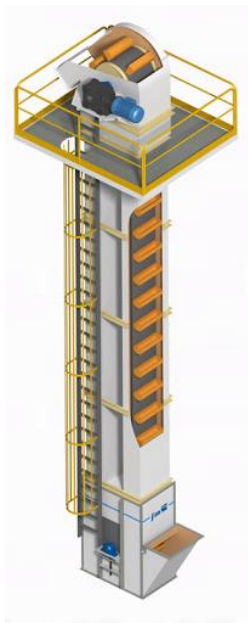
Este elemento es muy importante ya que la tensión inicial sobre el órgano tractor es la encargada de evitar el deslizamiento del órgano tractor sobre el tambor motriz, como indica la ecuación de Euler-Eytelwein. [2]–[5]

- Liner (12): Esta parte del elevador de cangilones es una parte ajustable, situada en el pie de elevador y se encarga de regular la distancia libre entre el cangilón y el fondo del pie del elevador, facilitando la carga mediante dragado del material.
- Boca de descarga (13): Abertura o conducto situado en la cabeza del elevador encargada de evacuar el material una vez elevado. Su geometría esta estudiada para que las partículas adopten la trayectoria adecuada hacia los cangilones, llenándolos de la mejor forma posible.

Una vez est1n definidos los elementos principales de un elevador de cangilones, se deber1 concretar como se clasifica la m1quina, en conjunto. [2]–[5]

Hay varias formas de clasificar los elevadores de cangilones, las m1s importantes son las siguientes:

- Seg1n la construcci3n y trayectoria:
  - Elevadores de cangilones verticales: Destinados al transporte de material vertical o inclinado con un 1ngulo inferior a 20° con la vertical. [ilustraci3n 18]
  - Elevadores de cangilones inclinados: Destinados al transporte de material a lo largo de una trayectoria rectil3nea que presenta una inclinaci3n con un 1ngulo entre 55° y 70° con respecto a la horizontal. [ilustraci3n 19]
  - Elevadores de cangilones basculantes en un plano vertical: Tambi3n denominados elevadores en “Z”, est1n destinados al transporte de material entre dos puntos situados en un mismo plano vertical pero situados a diferentes niveles. [ilustraci3n 20]



Ilustraci3n 18: Elevador de cangilones vertical

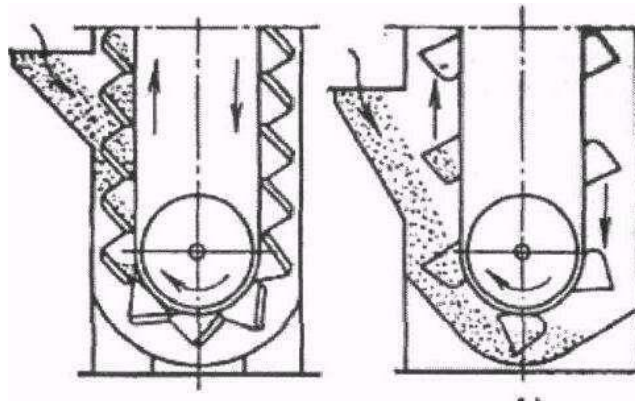


Ilustraci3n 19: Elevador de cangilones inclinado



Ilustraci3n 20: Elevador cangilones en "Z"

- Según el tipo de carga:
  - Directamente des de la tolva: Se emplea para el transporte de materiales de grano grande y abrasivos. La velocidad de desplazamiento del órgano tractor es pequeña. [ilustración 21]
  - Carga por dragado: Se emplea para el transporte de materiales que no ofrecen resistencia a la extracción, pulverulentos y de grano fino. [ilustración 21]



*Ilustración 21: Descarga des de tolva y por dragado*

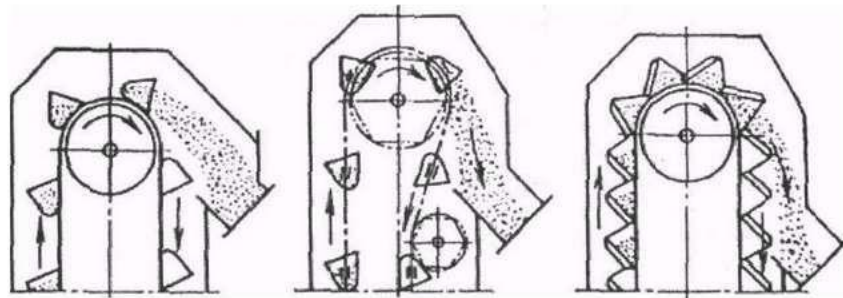


- Seg3n el tipo de descarga:
  - Centrífuga: Es el tipo m3s usado. El 3rgano tractor se desplaza a grandes velocidades provocando que el material sea lanzado en el punto superior del elevador por acci3n de la fuerza centrífuga.

Al usar este tipo de descarga, generalmente se efectúa una carga por dragado. Para poder realizar este tipo de descarga, la velocidad de desplazamiento debe ser mayor a  $1 \text{ m/s}$  en la gran mayoría de los casos. Siempre teniendo en cuenta la variaci3n causada por el radio del tambor.

Este tipo de descarga es usada para el transporte de material de grano fino, seco y que se desprende f3cilmente.

- Gravedad o continua: El 3rgano tractor se desplaza a bajas velocidades, comprendidas entre  $0,5 \text{ m/s}$  y  $1 \text{ m/s}$ . En este caso, se aprovecha el propio peso del material para realizar la descarga del mismo. Hay casos en los que es necesario desviar el ramal libre o de retorno para garantizar que la tolva de descarga se encuentre debajo la carga. [ilustraci3n 22]



*Ilustraci3n 22: Descarga centrífuga, por gravedad o continua (desviada y normal)*



## 2.2 Funcionamiento

El funcionamiento de un elevador de cangilones es relativamente sencillo.

Una vez el órgano tractor con los cangilones acoplados a él está en funcionamiento gracias al grupo del motor-reductor, el material a elevar se introduce por gravedad a través de la boca de carga situada en la parte inferior, en el pie del elevador. La geometría de la boca de carga está estudiada para que las partículas adopten la trayectoria adecuada hacia los cangilones, llenándolos de la mejor forma posible.

El cangilón será el encargado de recoger el material en la parte inferior y elevarlo hasta el punto de descarga situado en la parte superior del elevador, en la cabeza del elevador.

Una vez el material ha sido descargado en la cabeza del elevador, este se va por la boca de descarga hacia otra parte de la instalación, como podría ser un silo o una máquina. La geometría de la cabeza del elevador donde se realiza la descarga del material tiene una geometría estudiada según la trayectoria que adoptan los diferentes tipos de partículas con los que pueden trabajar este tipo de máquinas.

Los cangilones vuelven hacia el pie del elevador para repetir el proceso anterior una vez más.

## 2.3 Normativa

Durante el proceso de diseño de cualquier máquina, se debe tener en cuenta el obligado cumplimiento de las normativas.

En nuestro caso serán las siguientes normativas.

- UNE 157001: Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico. [35]
- DIN 22102-1:2014-01: Juntamente con la ISO 251:2003 regulan las bandas transportadoras con una o más capas de tejido textil para el transporte de materiales a granel. [14], [15]
- DIN 15237: Realización de tornillos para elevadores de cangilones.
- UNE-EN 10027-1:2017: Determinación de las propiedades de los diferentes tipos de aceros existentes en la industria. [10]
- UNE 58-222-87: Referente a los aparatos de manutención continua (grupo 3), más en concreto a los elevadores de cangilones. [1]
- EN 14491:2012: Sistemas de protección por ventero de explosiones de polvo. Esta norma indica el cálculo de los paneles de venteo. [20]
- UNE-EN 60079-10 y UNE-EN 60079-10-1:2016: Determina el nivel de seguridad para el material eléctrico instalado en ambientes explosivos de gas y vapores. [21]
- UNE-EN 1127-1:2012 y UNE-EN 61241-10:2005: Determina el nivel de seguridad para el material eléctrico instalado en ambientes explosivos de polvo. [19], [22]

Debido a que las normas UNE-EN 1127-1:2012 y UNE-EN 61241-10:2005 son las más difíciles de cumplir y las que se deberá prestar más atención a la hora de escoger materiales y productos, y que se detallaran a continuación.

Las normativas UNE-EN 60079-10, UNE-EN 60079-10-1:2016, UNE-EN 1127-1:2012 y UNE-EN 61241-10:2005 hacen referencia a las zonas ATEX.

- ¿Qué es una zona ATEX?
  - o Las siglas hacen referencia a atmósferas explosivas. Se consideran atmósferas explosivas todas las zonas en las que hay presencia de polvo o gas inflamable con riesgo de explosión.
- ¿Cómo se clasifican las zonas ATEX?
  - o Las diferentes zonas ATEX se clasifican mediante dos parámetros, el material en suspensión, ya sea polvo o bien gas y su presencia. Esta presencia puede ser permanente/frecuente, intermitente y episódica.

Para un estudio de un elevador de cangilones (grupo II), las diferentes clasificaciones serán las existentes en la siguiente tabla.

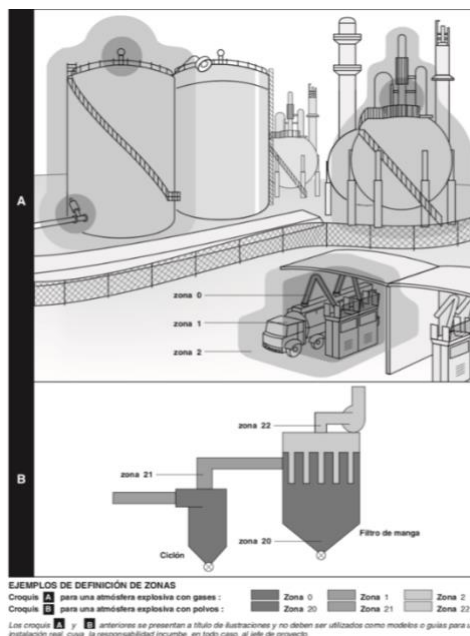


Ilustración 23: Zonas ATEX

Tabla 12: Zonas ATEX gases

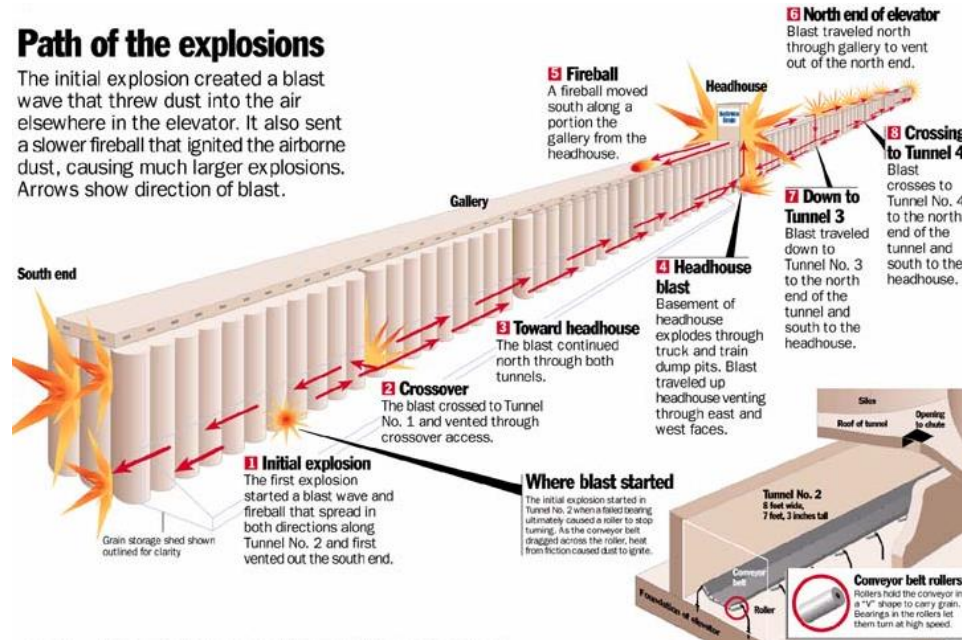
CATEGORIAS GASES		
Zona	Categoría (ATEX 94/9/CE)	Presencia atmósferas explosivas
0	1G	Permanente, frecuente o durante largos periodos
1	2G	Intermitente en servicio normal (probable)
2	3G	Episódico o durante cortos periodos

Tabla 13: Zonas ATEX polvos

CATEGORIAS POLVOS		
Zona	Categoría (ATEX 94/9/CE)	Presencia atmósferas explosivas
20	1D	Permanente, frecuente o durante largos periodos
21	2D	Intermitente en servicio normal (probable)
22	3D	Episódico o durante cortos periodos

La explosi3n primaria generada dentro de una zona ATEX no acostumbra a ser la explosi3n m1s grande, sino que son un detonante para una explosi3n secundaria de grandes dimensiones.

Por este motivo es importante monitorizar los elementos de un elevador de cangilones para evitar posibles explosiones primarias.



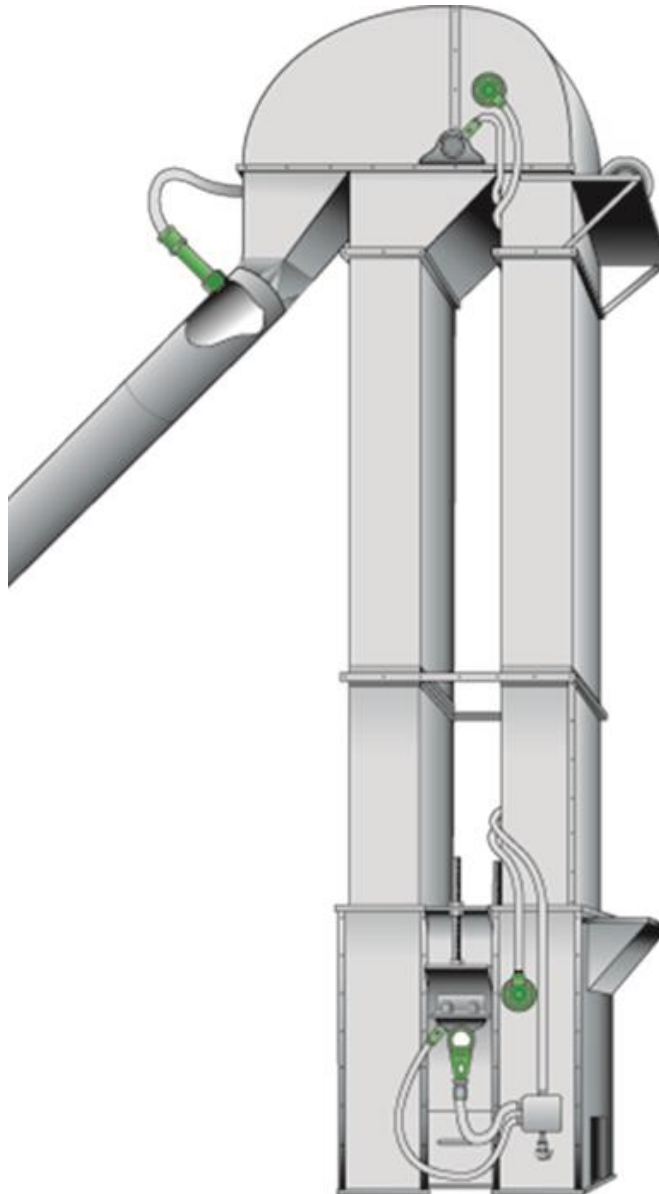
Ilustraci3n 24: Patr3n explosi3n

En el siguiente apartado se explicar1 con mayor detalle el origen de las posibles fuentes de ignici3n dentro de un elevador de cangilones y como se puede reducir su riesgo mediante la instalaci3n un sistema de seguridad.

## 2.4 Sistema de seguridad

Para el correcto funcionamiento de un elevador de cangilones, hay una serie de elementos y parámetros que deben ser controlados y supervisados para evitar un mal funcionamiento y poder realizar un mantenimiento preventivo, reduciendo el riesgo de fallada en los equipos y los consiguientes tiempos de inactividad.

La principal funci3n de un sistema de seguridad dentro de un elevador de cangilones y sobretudo si dicho elevador se encuentra dentro de una zona clasificada como ATEX, es prevenir el mal funcionamiento de sus elementos, evitando daños mayores en el equipo y posibles fuentes de ignici3n que podrían causar una explosi3n o un incendio en una situaci3n crítica. [19]–[22]



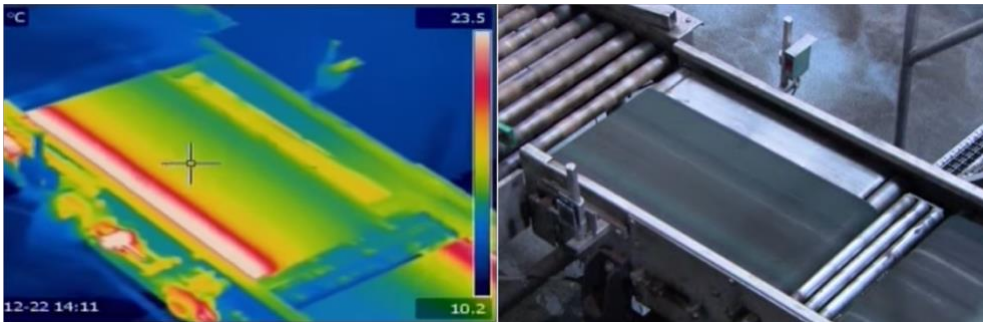
*Ilustraci3n 25: Sistemas de seguridad*

Las posibles fuentes de ignici3n dentro de un elevador de cangilones, son causadas por el mal funcionamiento de ciertos elementos del interior de equipo.

A continuaci3n, se muestran las posibles fuentes de ignici3n m1s comunes dentro de un elevador de cangilones, son las siguientes:

- Desvıo de banda:
  - Consecuencias:
    - Desgaste de los cangilones, caña del elevador y banda elevadora.
    - Generaci3n de chispas y alta temperatura.
  - ¿C3mo se detecta?
    - Sensores desalineaci3n de la banda elevadora.

Un elemento esencial en cualquier instalaci3n con una banda elevadora, es el sistema de detecci3n de desvıo de banda. El des alineamiento de una banda elevadora, puede provocar un aumento de la temperatura debido al roce con las paredes de la caña del elevador y una posterior explosi3n, ası como la rotura de la misma banda, causando daños en los cangilones y otros elementos de la instalaci3n. [23]



Ilustraci3n 26: Visi3n t3rmica fricci3n en banda

- ¿Qu3 soluciones existen en el mercado?

En el mercado se encuentran diferentes soluciones para detectar el desvıo de la banda con diferentes tecnologıas y m3todos de detecci3n.

- Por contacto (Touchswitch)
  - Este sensor est1 formado por un sensor electro-mec1nico, que transforma la fuerza lateral ejercida por la banda elevadora sobre el sensor en una variaci3n de la resistencia el3ctrica que acciona un rel3 que da la seńal de alarma, ya sea conectando esta salida un PLC, en una alarma sonora o parando la m1quina.



Ilustraci3n 27: Sensor Touchswitch



Este sensor tiene una característica que le permite destacar delante frente sus competidores, carece de partes móviles y no necesita calibración, por lo que ni el polvo ni la acumulación de material afectan a la vida útil del sensor y aún más importante, a su rendimiento y precisión.

Incorpora un elemento mecánico que permite realizar un test para comprobar que el sensor funciona correctamente.  
Puede funcionar con cualquier tipo de cangilón.

- Por fricción (RUB-BLOC)
  - Este sensor está formado por dos elementos, un cuerpo de latón que transforman la fricción generada por la banda en un aumento de temperatura que es detectado por el segundo elemento, una sonda de temperatura.



*Il·lustració 28: Sensor Rub-bloc*

Este sensor al carecer de partes móviles y calibración. No se ve afectado por la comulación de material o el polvo, pero si precisa adquirir cierta temperatura, en función de la sonda de temperatura empleada, para poder dar una señal de alarma y esto dentro de una atmosfera ATEX puede ser un problema ya que la detección no es instantánea. Existe un gran desgaste en el cuerpo del sensor cada vez que se produce un desvío de banda durante el tiempo que se tarda en dar la alarma.  
Puede funcionar con cualquier tipo de cangilón.

- Por inducción (BAP)
  - Este detector está compuesto por un sensor inductivo que detecta el paso de los cangilones fabricados con metales ferromagnéticos, de manera que, sin detección de los cangilones, da una señal de alarma.

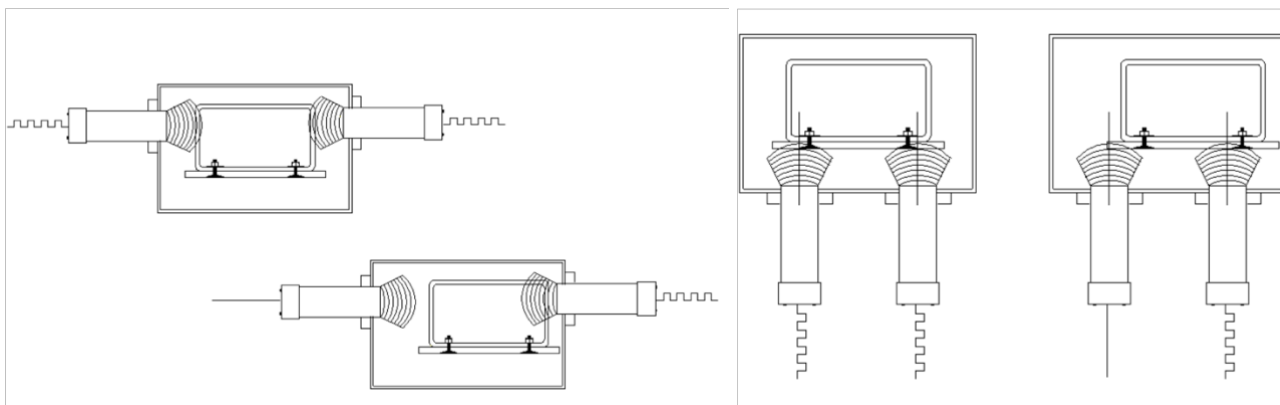


*Il·lustració 29: Sensor BAP*

Este sensor solo se puede usar en instalaciones con cangilones metálicos, por lo que reduce considerablemente sus ámbitos de uso, ya que no se contemplan los cangilones fabricados en acero inoxidable y materiales poliméricos. En el caso de querer utilizar un cangilón en acero inoxidable o polimérico, se pueden detectar los tornillos del cangilón, siempre que sean de un material ferromagnético.

Requiere de calibración manual y todo y no tener partes móviles, su rendimiento no se ve afectado por la acumulación de material y polvo.

El desplazamiento necesario en la banda para dar una señal de alarma, deberá ser de 25 a 30 mm, mucho mas grande comparado con los otros sensores mencionados. En la mayoría de las instalaciones, este espacio necesario para dar la señal de alarma no estará disponible.



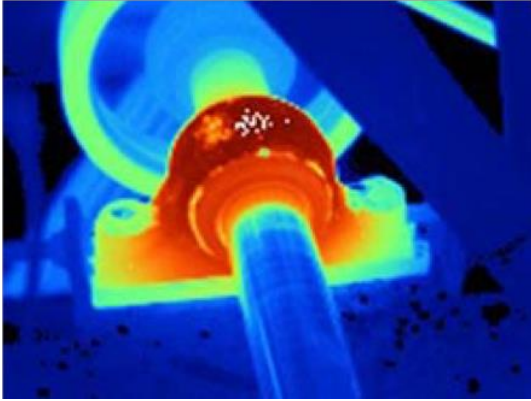
*Ilustración 30: Principio detección sensor inductivo*

*Tabla 14: Resumen características principales sensores desalineación banda*

Sensor	Necesita calibración	Tipo cangilones	Afectaciones por acumulación material	Detección instantánea
Touchswitch	NO	TODOS	NO	SI
Rub-block	NO	TODOS	NO	NO
BAP	SI	METÁLICOS	NO	SI



- Calentamiento de rodamientos:
  - Consecuencias:
    - Alta temperatura en el rodamiento que puede desencadenar una explosión, incendio o avería.
  - ¿Cómo se detecta?
    - Sensores de temperatura de rodamientos.



*Ilustración 31: Visión térmica rodamiento*

Los rodamientos ubicados en los ejes de los tambores son unos de los elementos móviles que mayor desgaste reciben, debido a las altas velocidades de los tambores, las fuerzas generadas por el órgano tractor y las difíciles condiciones ambientales de trabajo que se encuentran en un elevador de cangilones, como podrían ser la exposición a la intemperie, el escaso mantenimiento debido a un difícil acceso, entre otros. [24]

Por estos motivos es indispensable poder monitorizar su temperatura para evitar que aumente temperatura en caso de mal funcionamiento y pueda provocar daños en el propio rodamiento o equipo.

- ¿Qué soluciones existen en el mercado?

A continuación, se detallan los diferentes tipos de sensores existentes según sus características:

- Según forma del sensor:
  - Punta plana:
    - Estos sensores están diseñados para acoplarse en múltiples superficies, ya sea en la carcasa de los rodamientos, sobre un motor eléctrico, un reductor o la carcasa de una máquina.
  - Punta extensible:
    - Equipados con una punta extensible que permite llegar a la pista exterior del rodamiento.



*Ilustración 32: Sensor temperatura punta plana*

Incorpora un engrasador en el cuerpo del sensor ya que se rosca directamente en el engrasador existente ubicado en el soporte del rodamiento, permitiendo el engrase del rodamiento sin necesidad de desmontar el sensor.



*Ilustración 33: Sensor temperatura punta extensible*

- Punta fija:
  - Es el sensor más común, diseñado con una punta fija para encajar directamente en la mayoría de las instalaciones.

Incorpora un engrasador en el cuerpo del sensor ya que se rosca directamente en el engrasador existente ubicado en el soporte del rodamiento, permitiendo el engrase del rodamiento sin necesidad de desmontar el sensor.

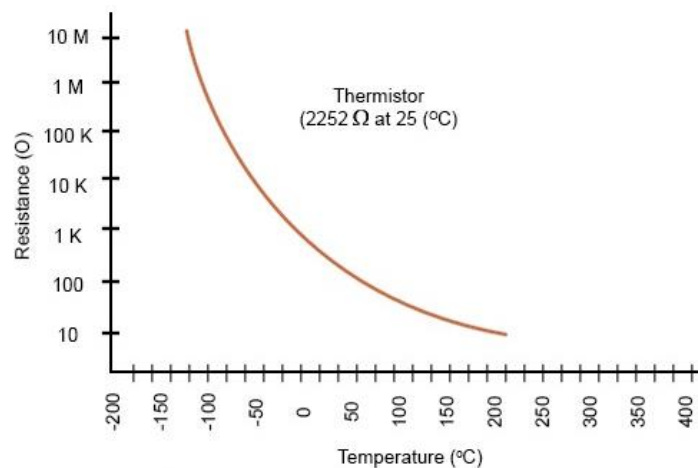


*Ilustración 34: Sensor temperatura punta fija*

- Según tipo de sensor:
  - NTC (*Negative Temperature Coefficient*):
    - Es un tipo de resistencia eléctrica cuya resistividad se ve afectada en función de la temperatura a la que está sometida con un coeficiente negativo. Esta variación frente a la temperatura es más acusada que en una resistencia común ya que se basa en la variación de la resistividad de un semiconductor frente a la temperatura. [25]

Con el aumento de la temperatura, la concentración de portadores también aumenta y disminuye la resistencia.

Es la opción más recomendada para esta aplicación, ya que su rango de temperaturas es válido para dichas necesidades, su coste de fabricación es muy bajo y permite obtener una lectura exacta y constante de la temperatura de los rodamientos.



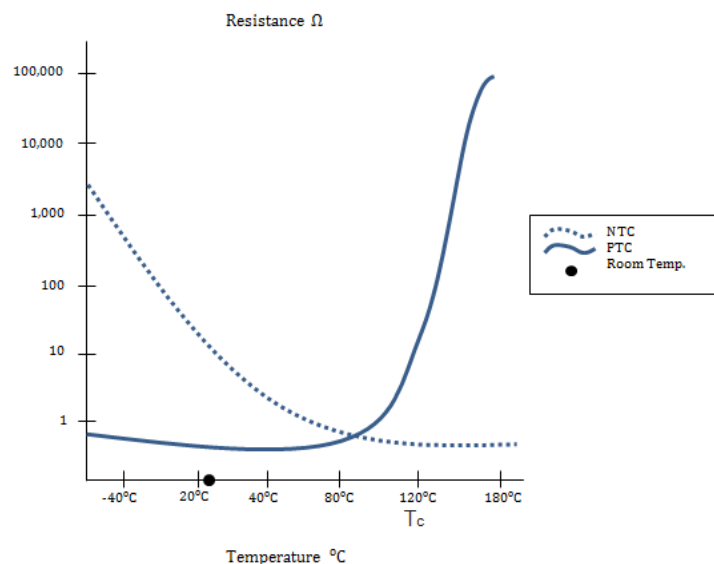
*Ilustración 35: Grafica temperatura VS resistencia en sensor NTC*

○ PTC (*Positive Temperature Coefficient*):

- Es un tipo de resistencia eléctrica cuya resistividad se ve afectada en función de la temperatura a la que está sometida con un coeficiente positivo, debido a ser un semiconductor con un dopado muy intenso. Esta variación frente a la temperatura es más acusada que en una resistencia común ya que se basa en la variación de la resistividad de un semiconductor frente a la temperatura. [25]

Con el aumento de la temperatura el termistor adquirirá propiedades metálicas, tomando un coeficiente positivo en un margen muy estrecho de temperaturas.

Debido a las características presentadas, esta sería la opción menos idónea para esta aplicación. La necesidad de conocer una temperatura para fijar el punto de disparo durante su proceso de fabricación y que no permite determinar la temperatura de forma exacta, son argumentos muy claros para su descarte.



*Ilustración 36: Grafica temperatura VS resistencia en sensor PTC comparado con NTC*

Tanto los sensores de temperatura PTC como NTC, ambos termistores, tienen una serie de ventajas sobre las otras sondas mencionadas:

- Su elevada sensibilidad permite obtener alta resolución en la medida de temperaturas.
- Su elevada resistividad permite emplear hilos largos para su conexión porque tienen mayor resistencia y coeficiente de temperatura.
- Su masa es muy pequeña por lo cual su velocidad de respuesta rápida es alta.
- Coste bajo.

- PT100:
  - Son un tipo específico de detector de temperatura RTD (Detector de Temperatura por Resistencia). Están fabricados con platino, con una resistencia de  $100\Omega$  a una temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$  y es el sensor RTD más usado. Estos sensores están normalmente montados en una vaina o funda protectora. [25], [26]

Al aumentar la temperatura aumenta su resistencia de forma lineal, por lo que son ideales para obtener lecturas constantes y muy precisas de un amplio rango de temperaturas, permitiendo determinar una temperatura de disparo específica.

Estos sensores tienen unas prestaciones muy parecidas a las de las sondas NTC, pero presentan un coste mayor durante su fabricación y en la mayoría de instalaciones es necesario incluir un convertidor de 4-20 mA.

Todo y que también tienen ventajas sobre los NTC, como un mayor rango de temperatura y mayor precisión.

Los principales inconvenientes de este tipo de sonda son la necesidad de saber el número de cables necesario, ya que existen diferentes modelos y debido a su poca resistividad, con longitudes de cable importantes, como las que se pueden encontrar en una instalación de un elevador de cangilones, la resistencia del cable afecta a la resistividad total de conjunto, obteniendo valores incorrectos y necesitando una corrección en la resistividad final para restar la resistencia del cable empleado.

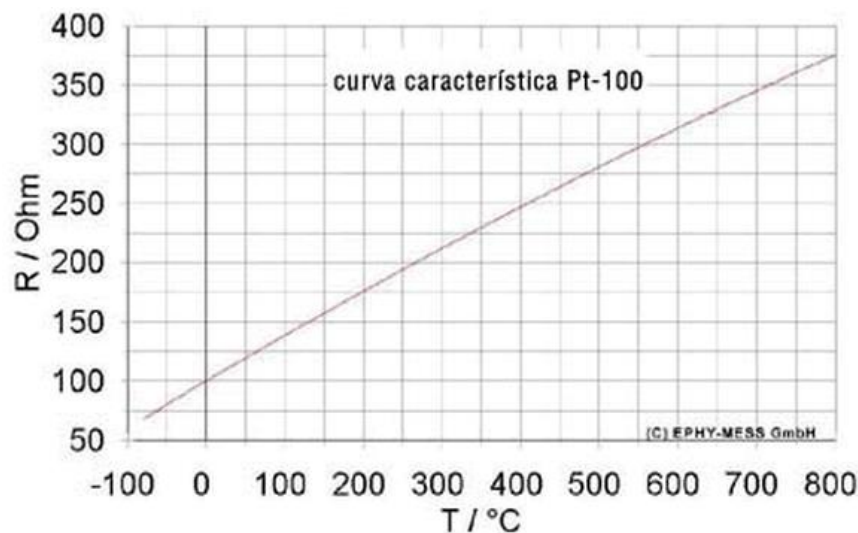
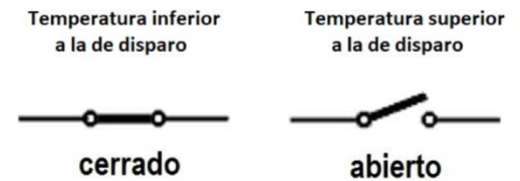


Ilustración 37: Gráfica temperatura VS resistencia en sensor PT100

- On/off:
  - Este tipo de controladores son la forma más simple para el control de la temperatura. Este sensor de temperatura solamente tiene dos posiciones, encendido o apagado. [25]

El salto entre estos dos estados se da cuando la temperatura supera un valor específico, el punto de ajuste.

Son usados generalmente cuando no es necesario un control preciso, en sistemas que no pueden soportar cambios frecuentes de encendido/apagado, donde la masa del sistema es tan grande que las temperaturas cambian muy lentamente.



Para realizar una alarma de temperatura con un controlador límite, es necesaria la instalación de un relé de enclavamiento.

*Ilustración 38: Representación funcionamiento sensor on/off*

*Tabla 15: Resumen características principales sensores temperatura*

Tipo sensor	Linealidad	Sensibilidad	Limitación rango detección
NTC	SI	SI	SI
PTC	SI	SI	SI
PT100	SI	SI	NO
ON/OFF	NO	NO	SI

- Atascos:
  - Consecuencias:
    - Obstrucción tuberías y elementos de transporte que puede desencadenar en una avería múltiple de los demás elementos de la máquina.
  - ¿Cómo se detecta?
    - Sensores capacitivos.
    - Sensores rotativos de palas.
    - Sensores de radio frecuencia.
    - Sensores de membrana.
  - ¿Qué soluciones existen en el mercado?

Esta detección se puede realizar de múltiples maneras, obteniendo una efectividad muy parecida, la geometría de la instalación y los posibles puntos donde poder realizar la instalación van a determinar el uso de un sensor u otro. [28]–[30]

- Sensor capacitivo (BSE12V10AI, BSE15V10AI):
  - Mediante la detección de un elemento a una distancia previamente calibrada, puede detectar la ausencia o presencia de materiales granulares, ya sea para determinar un nivel de llenado o una obstrucción en un conducto.



Ilustración 39: BSE15V10AI

Necesita de calibración y permite menospreciar la acumulación de polvo o una fina capa de material sobre el sensor.

- Sensor rotativo de palas (Roto-safe):
  - Este tipo de sensores, a diferencia de los previos, incorporan un pequeño motor eléctrico con unas palas que giran de forma permanente. Con la presencia de material, la fuerza generada por las palas contra el material evita el giro del motor, dando así la señal de alarma.

Colocando este sensor a una cierta altura, podemos determinar el nivel del material o si hay un atasco en un conducto.



Ilustración 40: Roto-safe

- Sensor radio frecuencia (Auto-set):
  - Con una funcionalidad muy parecida a la del sensor rotativo de palas, este sensor sustituye el motor eléctrico con las palas por una sonda de radiofrecuencia. De esta manera se eliminan los elementos móviles del sensor, minimizando las posibles averías y alargando la vida útil.



Ilustración 41: Auto-set

Permite la detección de múltiples niveles de llenado e incorpora un sistema de compensación automática para evitar falsas señales procedentes del material adherido a la sonda.

- Sensor membrana:
  - Otra forma de detectar el nivel de un sólido es mediante la fuerza que este hace contra las paredes del elemento que lo contiene. Esta fuerza se puede interpretar mediante una membrana incorporada en el interior del sensor.

Pueden disponer de diferentes grados de sensibilidad para regular la activación de la señal.  
Requiere de calibración.



Ilustración 42:  
Sensor membrana



- Deslizamiento de la banda:
  - Consecuencias:
    - Generación de chispas por el contacto metal con metal.
    - Contaminación cruzada por partículas de caucho y metálicas.
    - Desgaste irregular de los tambores.
  - ¿Cómo se detecta?
    - Controlando la velocidad del tambor de cola.
  - ¿Qué soluciones existen en el mercado?



Ilustración 43: Desgaste banda elevadora

Dentro de las diferentes soluciones existentes o de posible implementación, hay muy pocas soluciones que sean compactas y versátiles como las mencionadas a continuación. [27]

- Base con objetivo (Whirligig):
  - Este es el elemento que interpreta el giro del eje mediante unas marcas detectables, complementado con el uso de un sensor inductivo es capaz de interpretar dichas marcas y determinar un número de pulsos por revolución del eje y determinar la velocidad del eje.



Ilustración 45: Marcas detectables Whirligig

En función del número de pulsos por revolución, se podrá obtener mayor precisión en la velocidad.

Realiza tres funciones en una: objetivo del sensor, soporte y protector.



Ilustración 44: Whirligig

Incorpora un eje con rosca M-12 para acoplarse a un eje o accesorio magnético y es apta para cualquier sensor inductivo cilíndrico con un cuerpo con diámetro 30mm y 18mm.



- Conector magnético (MAG2000M):
  - Mediante este conector mecanizado con una métrica M12 en un extremo para poder acoplar el Whirligig y un imán el otro extremo para poder sujetarse al eje a monitorizar, permite unir el Whirligig al eje de forma fácil y segura.



Ilustración 46:  
Mag2000M

Es adaptable a cualquier tipo de eje.

- Sensor paro (M1003V10AI):
  - Este sensor inductivo detecta las marcas del Whirligig y genera una señal al dejar de leer las marcas del Whirligig durante un periodo de 4 segundos.

Detecta en un rango de 20 a 3600 pulsos por minuto e incorpora un retraso de 4 segundo para los momentos de arrancada.  
No necesita calibración.



Ilustración 47: M1003V10AI

- Sensor baja velocidad (M3003V10AI, M3008V10AI, M3007V10AI):
  - Mediante este sensor inductivo se puede detectar cuando la velocidad cae un 20% respecto a una velocidad establecida. De esta manera, se puede dar la alarma por baja velocidad y evitar daños mayores en el equipo.



Ilustración 48: M3003V10AI

Incorpora un relé de retraso de 30 segundos para los momentos de arrancada y precisa de calibración para establecer la velocidad base.

- Sensor inductivo (P1003V10AI):
  - Este sensor de proximidad inductivo también se puede combinar con el Whirligig o bien con un elemento propio de la máquina, como podría ser una rueda dentada.

Necesita un PLC o unidad de control para poder interpretar la señal, mientras que los otros sensores no.



*Ilustración 49: P1003V10AI*

Todo y disponer de múltiples equipos que actúan como barreras de seguridad, previniendo los riesgos de producir una explosión, se precisa un último elemento que proteja la instalación en caso de explosión garantizando la seguridad del propio equipo y la de las posibles personas que estén al alrededor del elevador de cangilones. Para poder obtener dicha seguridad, se deberá usar un equipo de venteo.

- ¿Qué soluciones existen en el mercado?

Debido a la manipulación de productos a granel en el interior de un elevador de cangilones, la atmósfera que se haya en su interior es altamente explosiva en la gran mayoría de los casos. [20], [32], [33]

El uso de los paneles de venteo está regulado por la norma EN 14491:2012 explicada en el apartado 2.4.

- ¿Qué es un panel de venteo?
  - El panel de venteo es el elemento encargado de proteger una instalación en caso de explosión, tanto por polvo como por gas. El panel está diseñado para ofrecer una superficie de alivio en caso de explosión, reduciendo la presión generada por la explosión dentro de la caña del elevador, silo o conducto, ya que es canalizada hacia el exterior.



*Ilustración 50: Panel de venteo con sensor de rotura*

- ¿Cómo funciona un panel de venteo?
  - Un panel de venteo consiste en una o dos laminas de acero inoxidable combinadas con capas muy finas de plástico, formando un conjunto. Las hojas de metal están ranuradas o perforadas para garantizar que el panel se abre a la presión diseñada de apertura, de manera que cuando hay una explosión el panel se abre y permite aliviar la presión en el interior evitando daños mayores en la estructura.

Hay fabricantes que tambi3n ofrecen la opci3n de montar un sistema apaga llamas. Este sistema est3 formado por capas de acero inoxidable que absorben la energ3a de la explosi3n/combusti3n mediante la transmisi3n de la energ3a generada en calor sobre la superficie de las capas met3licas, reduciendo as3 la temperatura del proceso de combusti3n y la energ3a restante ya no es suficiente para que se alcance la temperatura de ignici3n del material.



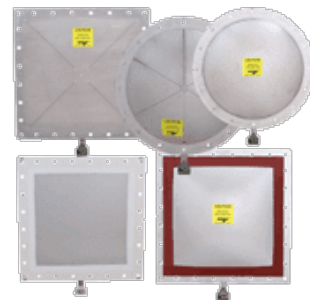
Ilustraci3n 51: Comparativa sistema apaga llama

Estos paneles son de un solo uso y se deber3n reemplazar despu3s de cada explosi3n.

- ¿Qu3 caracter3sticas tienen?
  - o Las principales caracter3sticas de los paneles de venteo son las dimensiones y la presi3n a la cual est3n tarados para abrirse.

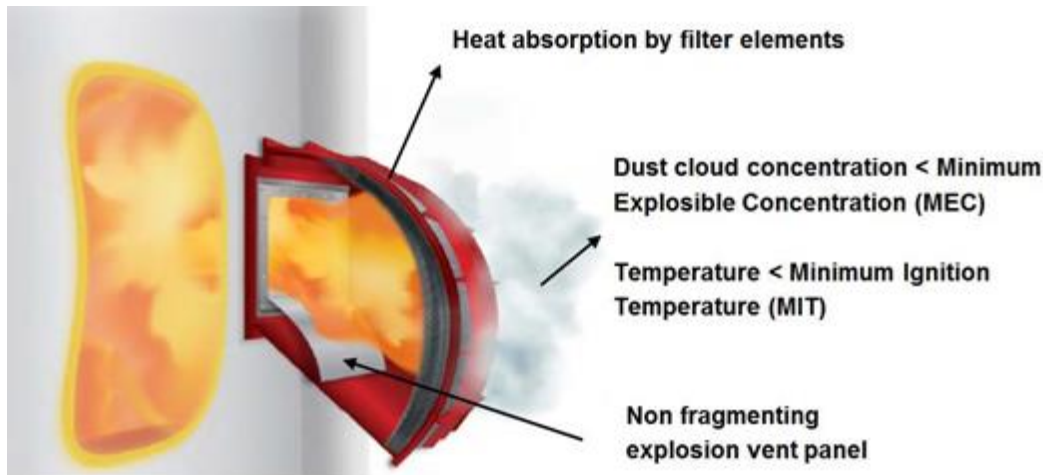
Las dimensiones y formas pueden variar mucho, des de redondos, rectangulares o cuadrados pero las dimensiones est3n estandarizadas por la mayor3a de los fabricantes.

Para las presiones de tara, hay unos valores tambi3n estandarizados por los fabricantes.



Ilustraci3n 52: Formas mas comunes de los paneles de venteo

Otro elemento a incorporar en un panel de venteo es un sensor de rotura para poder monitorizar el estado del panel en todo momento y poder saber si ha sufrido una explosi3n nuestra instalaci3n.



*Ilustración 53: Simulación panel de venteo con sistema apaga llamas*

Para poder interpretar, controlar y gestionar todas las señales generadas por los sensores anteriormente mencionados, es necesaria una unidad de control específica o bien un PLC debidamente programado. [31]

- ¿Qué soluciones existen en el mercado?

- Watchdog:



*Ilustración 54: Watchdog*

Mediante este elemento de control y supervisión, se puede dar señales de alarma a partir de las señales generadas por los sensores, sin necesidad de programar ningún tipo de código en el dispositivo, excepto los valores de alarma para cada variable.

Esta unidad de control permite subir información a una nube para crear una base de datos que puede ser utilizada de forma remota desde un ordenador y poder analizarla y trabajar con ella.

También permite la supervisión de la instalación en todo momento de forma remota.

## Seguridad magnética

Un objetivo esencial en un elevador de cangilones es evitar la entrada de cualquier material que no sea producto a elevar en el interior del elevador. Elementos férricos como piezas procedentes de otros elementos de la instalación, maquinaria utilizada en la manipulación y transporte de las materias primas o propios del elevador son fáciles de retirar mediante la instalación de un elemento de seguridad magnética. [34]

Dichos elementos podrían causar grandes daños en el elevador, ya sea por un atasco en los cangilones, rotura de cangilones, la rotura de la banda elevadora o generar una explosión debido a las chispas generadas por el contacto de las piezas metálicas entre sí.

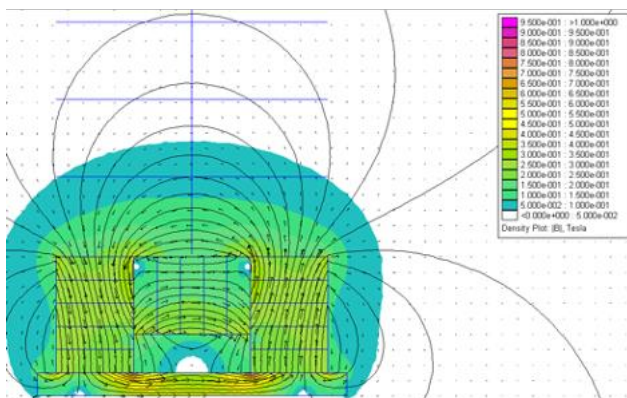


*Ilustración 55: Ubicación sistema seguridad magnética*

La incorporación de este elemento, debe permitir el paso de material sin afectar a su flujo y colocarse en un punto previo al inicio de la elevación del producto, por estos motivos el elemento idóneo es una placa magnética ya que con este elemento se permite el paso de material sin restringir su flujo.

Por motivos de seguridad y ergonomía durante su manipulación en los procesos de limpieza, se ha escogido una placa magnética con marco auto portante. Su peso y el acceso son elementos a tener en cuenta al escoger su ubicación.

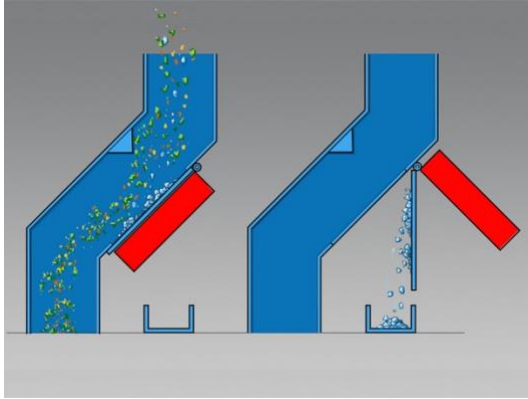
Para un óptimo funcionamiento, su colocación deberá ser en la boca de entrada del material en el pie de elevador.



*Ilustración 56: Campo magnético placa neodimio*

Mediante una placa magnética de neodimio de 4000 Gauss al contacto con el producto, se podrá atrapar los elementos férricos con masa inferior a 200 gramos que pasen a una distancia de 200-250 mm alrededor de la placa.

Para facilitar la limpieza e instalaci3n de la placa magnética, esta incorpora un sistema sujeci3n y una lamina separadora para facilitar la limpieza de la placa.



*Ilustraci3n 57: Proceso limpieza placa magnética*



*Ilustraci3n 58: Chute magnet*

## 2.5 Elevador a estudiar

El elevador objeto de este estudio es parte de una instalaci3n existente dentro de una cooperativa agraria destinada a la recolecci3n de trigo y otros cereales.

En concreto, este elevador se encuentra en el exterior de un edificio, expuesto a las inclemencias meteorol3gicas. Su finalidad es elevar el trigo proveniente de una tolva de descarga para remolques y elevarlo hasta la parte superior de un silo para su almacenamiento.

Por lo tanto, se debe tener en cuenta que el trigo proviene directamente de los remolques sin estar tratado o filtrado, implicando que puede contener objetos no deseados que pueden afectar a la instalaci3n.

En la siguiente p3gina, se muestran los par3metros actuales del elevador.



Tabla 16: Parámetros diseño elevador previos al estudio

PARÁMETRO		ANTES ESTUDIO	DEL
GENERAL	Capacidad deseada $Q_D (Tn/h)$	12	
	Tipo descarga	Centrifuga	
	Velocidad banda elevadora $v_B (m/s)$	1,30	
MATERIAL ELEAR	A	Tipo	Trigo
		Densidad $\rho (kg/m^3)$	750
		Factor llenado $F_{LL}$	0,8
DIMENSIONES DISEÑO ELEVADOR		Distancia entre centros $D_{CT} (m)$	20
		Ancho caña $X_E (mm)$	350
		Largo caña $Y_E (mm)$	300
		Nº cañas elevador	2
TAMBOR MOTRIZ		Diámetro tambor $\phi_{T1} (mm)$	500
		Largo tambor (mm)	350
		Recubrimiento	NO
		Diámetro eje $\phi_{ET1} (mm)$	95
		Diámetro eje unión reductor $\phi_{ETM1} (mm)$	50
		Rueda libre	SI
TAMBOR REENVÍO		Diámetro tambor $\phi_{T2} (mm)$	500
		Largo tambor (mm)	350
		Diseño	Jaula de ardilla
		Diámetro eje $\phi_{ET2} (mm)$	95
MOTO-REDUCTOR		Potencia $POT_M (W)$	3000
		Relación transmisión $\tau$	29,24
		Tipo	Engranajes rectos
		Factor Servicio motor eléctrico $F.S.$	2,4
		Factor Servicio reductor	2,7
		Rendimiento $\eta_{MR}$	0,80
CANGILONES		Modelo	SPS160-140
		Paso $d_c (mm)$	290
		Unidades $n_c$	142
BANDA ELEVADORA		Longitud $L_B (m)$	41,57
		Ancho $A_B (mm)$	220
		Carga por unidad de longitud $\sigma_B (N/mm)$	630
		Certificación ATEX	SI
		Tipo	EP 630/3 1,5+1,5 KG
		$C_\sigma$	1,14
SISTEMA SEGURIDAD	DE	Desalineación banda	NO
		Temperatura rodamientos	NO
		Velocidad-giro	NO
		Atasco-obstrucción tubo descarga	NO
		Unidad control	NO
		Seguridad magnética	NO
		Panel venteo	NO



Tabla 17: Datos tensión de Von-Mises en los diferentes puntos del tambor motriz

Punto/Tensión	$\sigma_{FMAX} (N/mm^2)$	$\sigma_N (N/mm^2)$	$\zeta_{TMAX} (N/mm^2)$	$\sigma_{VM} (N/mm^2)$	C.S.
Punto A	0,00	0,00	2,24	3,89	70,76
Punto C	146,78	0,00	2,24	146,83	1,87
Punto D	146,79	0,00	2,24	146,84	1,87
Punto B	0,01	0,00	2,24	3,89	70,76
Unión reductor	141,04	0,00	15,39	143,53	1,92

El esquema de las cargas consideradas sobre el tambor motriz, así como la pertinente explicación se puede encontrar en el apartado 3.3 juntamente con los cálculos a realizar.

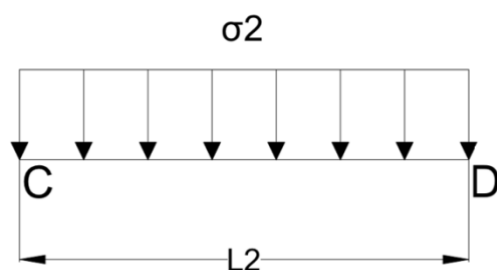


Ilustración 59: Cargas distribuidas sobre tambor motriz

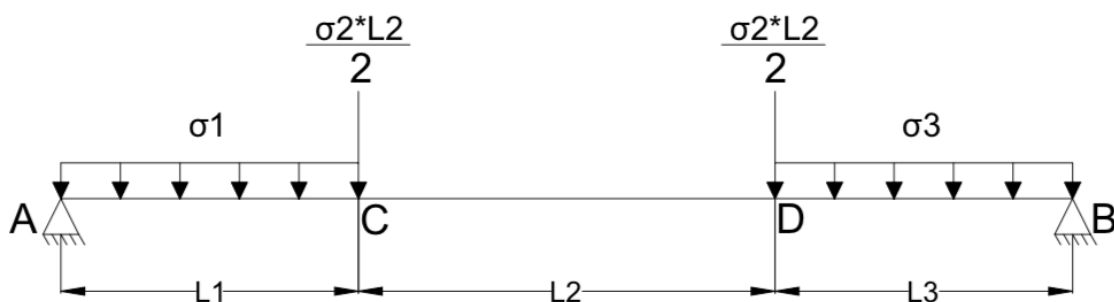
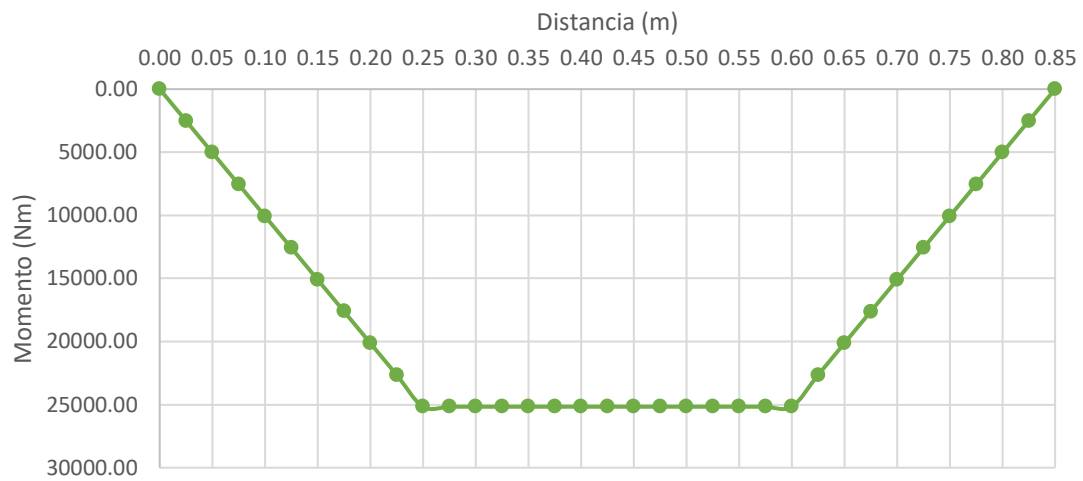


Ilustración 60: Cargas distribuidas sobre eje tambor motriz

### MF(X) Momentos flectores

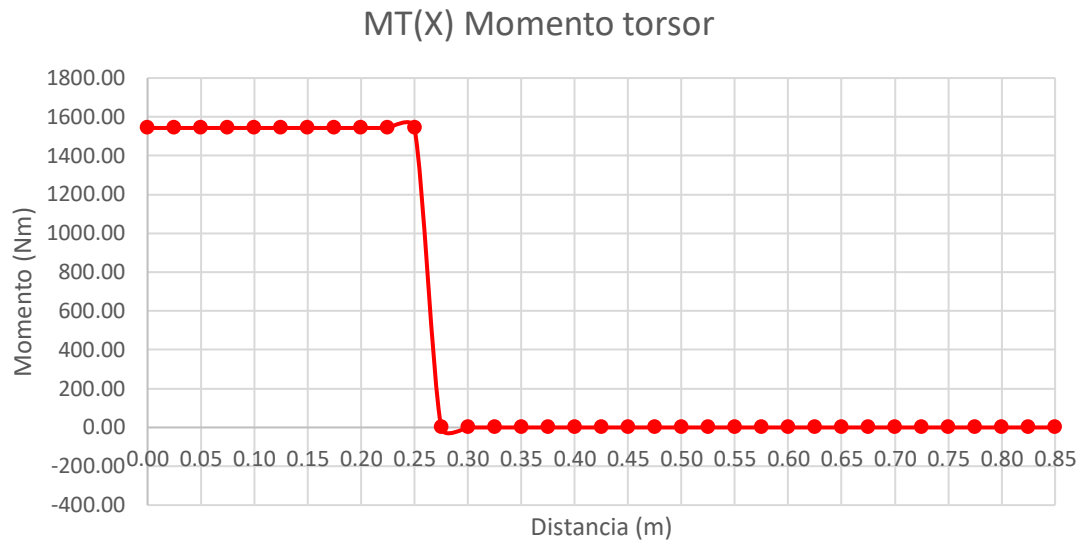


Gráfica 1: Momentos flectores iniciales eje tambor motriz

### Q(X) Esfuerzo cortante



Gráfica 2: Esfuerzos cortantes iniciales eje tambor motriz



*Grafica 3: Momento torsor inicial eje tambor motriz*

A continuación, se muestran los requisitos que se desea alcanzar del elevador existente una vez se realice el estudio.

Tabla 18: Requisitos del estudio

PARÁMETRO		DESPUÉS ESTUDIO	DEL
GENERAL	Capacidad deseada $Q_D (Tn/h)$	20	
	Tipo descarga	Centrífuga	
MATERIAL ELEAR	Tipo	Trigo	
	Densidad $\rho (kg/m^3)$	750	
	Factor llenado $F_{LL}$	0,7	
TAMBOR MOTRIZ	Diámetro eje $\phi_{ET1} (mm)$	A determinar	
	C.S.	A determinar	
TAMBOR REENVÍO	Diámetro eje $\phi_{ET2} (mm)$	A determinar	
	C.S.	A determinar	
MOTO- REDUCTOR	Potencia $POT_M (W)$	A determinar	
	Relación transmisión $\tau$	A determinar	
	Tipo	A determinar	
	Factor Servicio motor eléctrico $F.S.$	A determinar	
	Factor Servicio reductor	A determinar	
	Rendimiento $\eta_{MR}$	A determinar	
CANGILONES	Modelo	A determinar	
	Paso $d_C (mm)$	A determinar	
	Unidades $n_C$	A determinar	
BANDA ELEVADORA	Carga por unidad de longitud $\sigma_B (N/mm)$	A determinar	
	Certificación ATEX	SI	
	Tipo	A determinar	
	$C_\sigma$	A determinar	
SISTEMA SEGURIDAD	Desalineación banda	SI	
	Temperatura rodamientos	SI	
	Velocidad-giro	SI	
	Atasco-obstrucción tubo descarga	SI	
	Unidad control	SI	
	Seguridad magnética	SI	
	Panel venteo	SI	

Tabla 19: Datos a estudiar sobre la tensi3n de Von-Mises en los diferentes puntos del tambor motriz

Punto/Tensi3n	$\sigma_{FMAX} (N/mm^2)$	$\sigma_N (N/mm^2)$	$\zeta_{TMAX} (N/mm^2)$	$\sigma_{VM} (N/mm^2)$	C.S.
Punto A	A determinar	A determinar	A determinar	A determinar	A determinar
Punto C	A determinar	A determinar	A determinar	A determinar	A determinar
Punto C-D	A determinar	A determinar	A determinar	A determinar	A determinar
Punto D	A determinar	A determinar	A determinar	A determinar	A determinar
Punto B	A determinar	A determinar	A determinar	A determinar	A determinar
Uni3n reductor	A determinar	A determinar	A determinar	A determinar	A determinar

Los parámetros mostrados en la tabla 19 serán explicados en el apartado 3.3, juntamente con los cálculos a realizar.

El resto de elementos de la tabla 16 y tabla 17 que no aparecen en la tabla 18 y tabla 19 no serán modificados durante este estudio.

## 2.6 Restricciones

Durante la realizaci3n de este estudio no se han empleado t3cnicas relacionas con el an3lisis de elementos finitos por lo que algunos c3lculos han sido simplificados con coeficientes o ecuaciones equivalentes.

Todos los c3lculos se han realizado con programas de c3lculo b3sicos, Microsoft Excel en este caso, juntamente con programas de dise1o 3D para la realizaci3n de los planos.

Dichas restricciones se mencionan a continuaci3n conjuntamente con las ecuaciones empleadas:

- Fuerza de dragado: La determinaci3n de la fuerza de dragado implica el uso de c3lculos de elementos finitos o pruebas con el material para poder relacionar la velocidad, la profundidad y la granulometr3a del material con la resistencia que presenta el material al ser dragado. [36]–[40]

En el caso de este estudio, se ha supuesto el peor escenario posible: el liner lleno al completo de material a m3xima velocidad. Esto se puede apreciar en las Ec.13, Ec.14, Ec.15, Ec.16, Ec.17y Ec.18.

- Factor de llenado: Poder determinar el factor de llenado exacto de cada cangil3n es un proceso muy dif3cil y complejo, ya que muchas veces el material no se descarga de forma continua en el elevador y no siempre hay la misma cantidad de material en el liner. [2], [3], [5]

Para este estudio se ha supuesto un factor de llenado de 0,7, es decir del 70% del volumen de agua del cangil3n. Este valor es el m3s com3n, estando recomendado por el fabricante de los cangilones como valor estandarizado.

De esta manera tambi3n se garantiza llegar a la capacidad establecida ya que, si el cangil3n se llena m3s que el valor del factor de llenado establecido, se continuar3 cumpliendo con la capacidad deseada, permitiendo cierta flexibilidad en la capacidad de elevaci3n. Se puede apreciar en la Ec.2 y Ec.10.

- Transitorios durante la arrancada y frenada: Tanto el proceso de arrancada como el de frenada requieren de un proceso de aceleraci3n que no ha sido estudiado como tal en este caso. Se ha determinado el par que entrega el motor el3ctrico durante el proceso de arrancada y se ha calculado la tensi3n inicial de la banda para evitar el deslizamiento durante esas condiciones de trabajo, ya que esta situaci3n es el caso m3s critico. [2], [3], [5], [11]

No se ha tenido en cuenta el uso de un variador de frecuencia para disminuir el par de arrancada sobre la banda elevadora. Se puede apreciar en las Ec.24, Ec.25, Ec.26, Ec.48, Ec.49, Ec.50, Ec.51, Ec.52, Ec.66, Ec.67, Ec.68, Ec.68, Ec.70, Ec.71, Ec.72 y Ec.73.

- Trayectoria descarga material: Para poder realizar una descarga centrifuga, la velocidad de desplazamiento de la banda elevadora deberá ser mayor a  $1 \text{ m/s}$  y el punto óptimo de inicio de descarga del material se encuentra en un ángulo de  $60^\circ$  hacia la izquierda respecto la vertical que pasa por el punto central del tambor (posición 10 de la imagen adjunta). [2], [3], [8]



*Ilustración 61: Descarga centrifuga*

La cabeza del elevador debe estar diseñada para guiar el material una vez ha salido del cangilón, de no ser así el material no será guiado hacia la boca de descarga correctamente y puede caer al pie del elevador a través de la caña.

En el caso de este estudio se ha determinado la velocidad optima de la banda elevadora en función de los diámetros de los tambores motriz y de reenvío. De esta manera se garantiza la descarga del material en el punto optimo descrito anteriormente. Esta suposición se puede observar en la Ec.1.

- Paso entre cangilones: Este parámetro se puede variar dentro de unos límites, estando comprendido entre un máximo de 3 veces y un mínimo de 2 veces su profundidad. Esta restricción se puede apreciar en las Ec.2, Ec.3 y Ec.4. [3], [8]
- Estructura: No se ha modificado ninguna dimensión estructural, como son la distancia entre centro de tambores, diámetro y largo de los tambores, así como el número de cañas y sus dimensiones. Como se ha mencionado en el apartado 2.5, todos los parámetros de la tabla 16 y 17 que no aparecen en la tabla 18 no han sido incluidos dentro del estudio realizado.

Únicamente se han estudiado los ejes y la chaveta del tambor motriz para comprobar que pueden soportar las fuerzas máximas que actúan sobre él y que resistan a la fatiga generada por los diferentes ciclos de trabajo a lo largo de la vida útil del equipo. [41], [42]

Se puede apreciar en las Ec.28 a Ec.47, y Ec.66 a Ec.73.

## 2.7 Análisis de los datos posteriores

A continuaci3n, se mostrarán las ecuaciones empleadas durante el proceso de cálculo que pueden ser encontradas en el documento Excel adjunto.

Dicho documento Excel es una hoja de cálculo que permite comprobar los cálculos de este proyecto y puede ser utilizada para realizar otros proyectos sobre elevadores de cangilones.

Velocidad banda elevadora:

$$v_B(m/s) = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \phi_{T1}(m) \cdot g \left( \frac{m}{s^2} \right)} \quad (\text{Ec.1})$$

Número cangilones por metro:

$$n_{C/m} = \frac{Q_D(T/h) \cdot 1000(kg/T)}{3600(s/h) \cdot \rho_P(kg/m^3) \cdot V_C(m^3) \cdot F_{LL} \cdot v_B(m/s)} \quad (\text{Ec.2})$$

Número cangilones totales:

$$n_C = \frac{n_C}{m} \cdot L_B(m) \quad (\text{Ec.3})$$

Paso entre cangilones:

$$d_C(m) = \frac{1}{n_{C/m}} \quad (\text{Ec.4})$$

Balance energía sistema:

$$P_{SIST} = (\dot{E}_K)_{SIST} \quad (\text{Ec.5})$$

Energía mecánica sistema:

$$(\dot{E}_K)_{SIST} = 0 \quad (\text{Ec.6})$$

Potencia sistema:

$$P_{SIST} = 0 \quad (\text{Ec.7})$$



Par tambor motriz:

(Ec.8)

$$M_1(Nm) = M_2(Nm) \cdot R_{T1}(m) (P_1(N) + P_2(N))$$

Número cangilones llenos de material:

(Ec.9)

$$n_1 = \frac{L_B(m)}{2 \cdot d_c(m)}$$

Peso cangilones llenos de material:

(Ec.10)

$$P_1(N) = n_1 \cdot g \left( \frac{m}{s^2} \right) \cdot \left( V_c(m^3) \cdot \rho_P \left( \frac{kg}{m^3} \right) \cdot F_{LL} + m_c(kg) \right)$$

Número cangilones vacíos:

(Ec.11)

$$n_2 = \frac{L_B(m)}{2 \cdot d_c(m)}$$

Peso cangilones vacíos:

(Ec.12)

$$P_2(N) = n_2 \cdot g \left( \frac{m}{s^2} \right) \cdot m_c(kg)$$

Ancho banda elevadora:

(Ec.13)

$$A_B(m) = 1,25 \cdot A(m)$$

Superficie dragado:

(Ec.14)

$$S_C(m^2) = 1,25 \cdot A(m) \cdot B(m)$$

Fuerza dragado por columna del material:

(Ec.15)

$$F_{D1}(N) = \phi_{T1}(m) \cdot \rho_P \left( \frac{kg}{m^3} \right) \cdot S_C(m^2) \cdot g \left( \frac{m}{s^2} \right)$$

Fuerza dragado por resistencia del material:

(Ec.16)

$$F_{D2}(N) = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_P \left( \frac{kg}{m^3} \right) \cdot S_C(m^2) \cdot v_B^2 \left( \frac{m^2}{s^2} \right)$$

Número de cangilones dragando:

(Ec.17)

$$n_3 = \frac{\phi_{T2}(m) \cdot \pi}{4 \cdot d_c(N/mm)}$$

Fuerza de dragado total:

(Ec.18)

$$F_D(N) = n_3 \cdot (F_{D1}(N) + F_{D2}(N))$$

Par tambor reenvío:

(Ec.19)

$$M_2(Nm) = F_D(N) \cdot R_{T2}(m)$$

Potencia tambor motriz:

(Ec.20)

$$POT_1(W) = M_1(N) \cdot \omega_1(rad/s)$$

Relación par arrancada motor eléctrico:

(Ec.21)

$$\frac{M_{MA}(Nm)}{M_M(Nm)}$$

Relación de transmisión:

(Ec.22)

$$\tau = \frac{\omega_M(rad/s)}{\omega_1(rad/s)}$$

Rendimiento motor-reductor:

(Ec.23)

$$\eta_{MR} = \eta_M \cdot \eta_R$$

Par motor eléctrico:

(Ec.24)

$$M_M(Nm) = M_1(Nm) \cdot \tau \cdot \eta_{MR}$$

Potencia motor eléctrico:

(Ec.25)

$$Pot_M(W) = M_M(Nm) \cdot \omega_M(rad/s)$$

Par motor-reductor:

(Ec.26)

$$M_{MR}(Nm) = M_M(Nm) \cdot \tau \cdot \eta_{MR}$$

Factor de servicio motor eléctrico:

(Ec.27)

$$F.S. = \frac{POT_M(W) \cdot \eta_{MR}}{POT_1(NW)}$$

Carga distribuida tramo 1 eje tambor motriz:

(Ec.28)

$$\sigma_1(N/m) = \frac{\pi}{4} \cdot \phi_{ET}^2(m) \cdot \rho_{ACERO} \left( \frac{kg}{m^3} \right) \cdot g \left( \frac{m}{s^2} \right)$$

Carga distribuida tambor motriz:

(Ec.29)

$$\sigma_2(N/m) = 1,25 \cdot \sigma_c(N/mm) + \frac{\pi}{4} \cdot (\phi_T^2(m) - (\phi_T(m) - 2 \cdot e_T(m))^2) \cdot \rho_{ACERO} \left( \frac{kg}{m^3} \right) \cdot g \left( \frac{m}{s^2} \right)$$

Carga distribuida tramo 3 eje tambor motriz:

(Ec.30)

$$\sigma_3(N/m) = \frac{\pi}{4} \cdot \phi_{ET}^2(m) \cdot \rho_{ACERO} \left( \frac{kg}{m^3} \right) \cdot g \left( \frac{m}{s^2} \right)$$

Sumatorio momentos en punto A eje tambor motriz:

(Ec.31)

$$\sum M_A = 0$$

Reacción vertical punto A eje tambor motriz:

$$RB_Y(N) = \frac{\sigma_1(N/m) \cdot \frac{L_1(m)^2}{2} + \frac{\sigma_2(N/m) \cdot L_2(m)}{2} \cdot (L_1(m) + L_1(m) + L_2(m)) + \sigma_3(N/m) \cdot L_3(m) \cdot (L_1(m) + L_2(m) + \frac{L_3(m)}{2})}{L_1(m) + L_2(m) + L_3(m)} \quad (\text{Ec.32})$$

Sumatorio de fuerzas verticales:

$$\sum F_Y = 0 \quad (\text{Ec.33})$$

Reacción vertical punto B eje tambor motriz:

$$RA_Y(N) = \sigma_1(N/m) \cdot L_1(m) + \sigma_2(N/m) \cdot L_2(m) + \sigma_3(N/m) \cdot L_3(m) - RB_Y(N) \quad (\text{Ec.34})$$

Sumatorio momentos flectores tramo 0 –  $L_1$ :

$$\sum M(X)_{0-L_1}(Nm) = RA_Y(N) \cdot X(m) - \sigma_1(N/m) \cdot \frac{X(m)^2}{2} \quad (\text{Ec.35})$$

Sumatorio esfuerzos cortantes tramo 0 –  $L_1$ :

$$\sum Q(X)_{0-L_1}(N) = \sigma_1(N/m) \cdot X(m) - RA_Y(N) \quad (\text{Ec.36})$$

Sumatorio momentos flectores tramo  $L_1 - L_2$ :

$$\sum M(X)_{L_1-L_2}(Nm) = RA_Y(N) \cdot X(m) - \sigma_1(N/m) \cdot L_1(m) \cdot \left(X(m) - \frac{L_1(m)}{2}\right) - \frac{\sigma_2(N/m) \cdot L_2(m)}{2} \cdot (X(m) - L_1(m)) \quad (\text{Ec.37})$$

Sumatorio esfuerzos cortantes tramo  $L_1 - L_2$ :

$$\sum Q(X)_{L_1-L_2}(N) = \sigma_1(N/m) \cdot L_1(m) + \frac{\sigma_2(N/m) \cdot L_2(m)}{2} - RA_Y(N) \quad (\text{Ec.38})$$

Sumatorio momentos flectores tramo  $L_2 - L_3$ :

$$\sum M(X)_{L_2-L_3}(Nm) = RA_Y(N) \cdot X(m) - \sigma_1(N/m) \cdot L_1(m) \cdot \left(X(m) - \frac{L_1(m)}{2}\right) - \frac{\sigma_2(N/m) \cdot L_2(m)}{2} \cdot \left((X(m) - L_1(m)) + (X(m) - L_1(m) - L_2(m))\right) - \sigma_3(N/m) \cdot \frac{1}{2} \cdot (X(m) - L_1(m) - L_2(m))^2 \quad (\text{Ec.39})$$

Sumatorio esfuerzos cortantes tramo  $L_2 - L_3$ :

$$\sum Q(X)_{L_2-L_3}(N) = \sigma_1(N/m) \cdot L_1(m) + \sigma_2(N/m) \cdot L_2(m) + \sigma_3(N/m) \cdot (X(m) - (L_1(m) + L_2(m))) - RA_Y(N) \quad (\text{Ec.40})$$

Momento flector máximo conjunto tambor motriz:

$$\sigma_{FMAX}(N/mm^2) = \frac{M_F(Nm)}{W_F(mm^3)} \quad (\text{Ec.41})$$

Momento contra flexión eje tambor motriz:

$$W_F(mm^3) = 0,2 \cdot \phi_i^3(mm) \quad (\text{Ec.42})$$

Esfuerzo axial conjunto tambor motriz:

$$\sigma_N(N/mm^2) = \frac{F_N(N)}{\frac{\pi}{4} \phi_i^2(mm)} \quad (\text{Ec.43})$$

Momento torsor máximo conjunto tambor motriz:

$$\zeta_{TMAX}(N/mm^2) = \frac{M_T(Nm)}{W_T(mm^3)} \quad (\text{Ec.44})$$

Momento torsión eje tambor motriz:

$$W_T(mm^3) = 0,2 \cdot \phi_i^3(mm) \quad (\text{Ec.45})$$

Tensión Von-Mises:

$$\sigma_{VM}(N/mm^2) = \sqrt{\left(\sigma_{FMAX}(N/mm^2) + \sigma_N(N/mm^2)\right)^2 + 3 \cdot \zeta_{TMAX}^2(N/mm^2)} \quad (\text{Ec.46})$$

Coefficiente seguridad eje tambor motriz:

$$C.S. = \frac{\sigma_{ADM\ ACERO}(N/mm^2)}{\sigma_{VM}(N/mm^2)} \quad (\text{Ec.47})$$

Sumatorio momentos centro  $O1$  tambor motriz:

(Ec.48)

$$\sum M_{O1} = 0$$

Tensión ramal entrante banda elevadora:

(Ec.49)

$$T_1(N) = \frac{M_1(Nm)}{R_{T1}(m)} + \frac{T_2(N) \cdot R_{T2}(m)}{R_{T1}(m)}$$

Ecuación Euler-Eytelwein:

(Ec.50)

$$\frac{T_1(m)}{T_2(m)} < e^{\mu \cdot \beta(\text{rad})}$$

Tensión ramal saliente banda elevadora:

(Ec.51)

$$T_2(m) > \frac{T_1(m)}{e^{\mu \cdot \beta(\text{rad})} - 1}$$

Tensión inicial banda elevadora:

(Ec.52)

$$T_O(m) = \frac{T_1(m) + T_2(m)}{2}$$

Ancho útil banda elevadora:

(Ec.53)

$$A_{BU}(m) = A_B(m) - n_E \cdot E(m)$$

Carga por unidad de longitud de la banda elevadora calculada:

(Ec.54)

$$\sigma_C(N/mm) = \frac{T_{MAX}(N) \cdot CS}{A_{BU}(mm)}$$

Factor servicio carga por unidad de longitud:

(Ec.55)

$$C_\sigma = \frac{\sigma_B(N/mm)}{\sigma_C(N/mm)}$$

Diámetro equivalente zona venteo:

(Ec.56)

$$D_E(m) = \max(X_E; Y_E)$$

Relación entre longitud y diámetro equivalentes de venteo:

(Ec.57)

$$L_E(m) / D_E(m)$$

Volumen equivalente de venteo:

(Ec.58)

$$V_E(m^3) = X_E(m) \cdot Y_E(m) \cdot L_E(m)$$

Coefficiente área venteo  $C_V$ :

(Ec.59)

$$C_V(m) = (-4,305 \cdot \log P_{RED,MAX} + 0,758)$$

Coefficiente área venteo  $B_V$ :

(Ec.60)

$$B_V(m) = (3,264 \cdot 10^{-5} \cdot P_{MAX} \cdot K_{ST} \cdot P_{RED,MAX}^{-0,569} + 0,27 \cdot (P_{SAT} - 0,1) \cdot P_{RED,MAX}^{-0,5}) \cdot V_E^{0,753}(m^3)$$

Área venteo:

(Ec.61)

$$A_V(m^2) = B_V(m) \cdot \left(1 + C_V(m) \cdot \log \frac{L_E(m)}{D_E(m)}\right)$$

Eficiencia venteo:

(Ec.62)

$$\eta_V = 1 - \frac{A_V(m^2)}{V_E^{0,753}(m^3)}$$

Área venteo total:

(Ec.63)

$$A_{VT}(m^2) = n_A \cdot \frac{A_V(m^2)}{\eta_V}$$

Número paneles de venteo en caña elevador

(Ec.64)

$$n_{PVC} = \frac{A_{VT}(m^2)}{A_{PV}(m^2)}$$

Número paneles de venteo:

(Ec.65)

$$n_{PVT} = n_{PVC} + n_{PCH}$$

Fuerza aplicada sobre la chaveta:

(Ec.66)

$$F_{CH}(N) = \frac{2 \cdot M_{MR}(Nm)}{\phi_{ETM1}(m)}$$

Límite elástico acero chaveta fallo por cizallamiento:

(Ec.67)

$$\sigma_{CCH} \left( \frac{N}{mm^2} \right) = \frac{F_{CH}(N)}{b_{CH}(mm) \cdot l_{CCH}(mm)}$$

Relación límite elástico acero chaveta fallo por cizallamiento y límite elástico acero chaveta:

(Ec.68)

$$\sigma_{CCH} \left( \frac{N}{mm^2} \right) = \frac{\sigma_{SCH} \left( \frac{N}{mm^2} \right)}{n_{sch}}$$

Longitud chaveta fallo por cizallamiento:

(Ec.69)

$$l_{CCH}(mm) = \frac{2 \cdot M_{MR}(Nmm) \cdot n_{SCH}}{b_{CH}(mm) \cdot \phi_{ETM1}(mm) \cdot \sigma_{SCH} \left( \frac{N}{mm^2} \right)}$$

Límite elástico acero chaveta fallo por aplastamiento:

(Ec.70)

$$\sigma_{ACH} \left( \frac{N}{mm^2} \right) = \frac{F_{CH}(N)}{\frac{1}{2} h_{CH}(mm) \cdot l_{ACH}(mm)}$$

Relación límite elástico acero chaveta fallo por aplastamiento y límite elástico acero chaveta:

(Ec.71)

$$\sigma_{ACH} \left( \frac{N}{mm^2} \right) = \frac{\sigma_{MCH} \left( \frac{N}{mm^2} \right)}{n_{sch}}$$



Longitud chaveta fallo por aplastamiento:

$$l_{ACH}(mm) = \frac{4 \cdot M_{MR}(Nmm) \cdot n_{SCH}}{h_{CH}(mm) \cdot \phi_{ETM1}(mm) \cdot \sigma_{MCH} \left( \frac{N}{mm^2} \right)} \quad (Ec.72)$$

Longitud chaveta:

$$l_{CH}(mm) = MAX[l_{CCH}(mm); l_{ACH}(mm)] \quad (Ec.73)$$

### 3 Método

Todos los datos utilizados durante el proceso de cálculo han sido extraídos de las diferentes bibliografías empleadas y de los datos facilitados por los proveedores. Todos los catálogos consultados han sido incluidos en el anexo 2 y 3.

#### 3.1 General

El paso previo a cualquier otro cálculo, es determinar la velocidad a la que se requiere que opere el elevador de cangilones. Teniendo en cuenta que se pretende una descarga centrífuga, esta velocidad va a determinar el punto de descarga, como visto en el capítulo 2.6. [2], [3]

Por lo tanto, se obtendrá la velocidad de la banda elevadora según el punto de descarga óptimo, como se muestra en la Ec.1.

Durante el proceso de descarga se pretende realizar la descarga del material antes que el cangilón llegue a la parte superior de la cabeza del elevador, implicando que el punto teórico óptimo de descarga se considerará justamente en la posición superior de la cabeza del elevador, con un ángulo nulo ( $\alpha = 0$ ), donde la carga resultante sobre la partícula es cero ( $F_B(N) = 0$ ).

Esta suposición se realiza para simplificar el proceso de cálculo.

En ese punto la carga del interior del cangilón está suelta y la descarga se puede realizar de forma más fácil.

A continuación, se muestra el proceso de obtención de la Ec.1:

$$\frac{F_B(N)}{g \left( \frac{m}{s^2} \right) \cdot \left( V_C(m^3) \cdot \rho_P \left( \frac{kg}{m^3} \right) \cdot F_{LL} + m_c(kg) \right)} = \frac{v_B \left( \frac{m}{s} \right)^2}{\frac{1}{2} \cdot \phi_{T1}(m) \cdot g \left( \frac{m}{s^2} \right)} - \cos \alpha$$

$$0 = \frac{v_B \left( \frac{m}{s} \right)^2}{\frac{1}{2} \cdot \phi_{T1}(m) \cdot g \left( \frac{m}{s^2} \right)} - \cos(0)$$

$$0 = \frac{v_B \left( \frac{m}{s} \right)^2}{\frac{1}{2} \cdot \phi_{T1}(m) \cdot g \left( \frac{m}{s^2} \right)} - 1$$

$$v_B \left( \frac{m}{s} \right) = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \phi_{T1}(m) \cdot g \left( \frac{m}{s^2} \right)} \quad (Ec. 1)$$

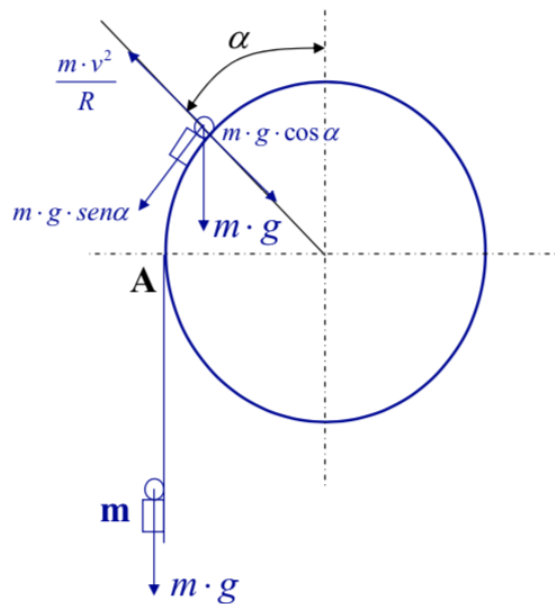


Ilustración 62: Diagrama fuerzas proceso descarga material

### 3.2 Optimización de los cangilones

Una vez determinada la velocidad de la banda elevadora, se deberá elegir el modelo de cangilón adecuado a partir del tipo de descarga empleada y el material a elevar, como visto en el capítulo 2.1.

Posteriormente, será necesario obtener el número de cangilones necesarios para la instalación existente. Para poder determinar dicho dato, se deberá comprobar el espacio disponible en la caña del elevador para determinar el tamaño máximo del cangilón, las unidades por metro vendrán determinadas por la Ec.2 y posteriormente se deberán multiplicar por la longitud total de la banda elevadora para poder obtener el número total de cangilones en la instalación, Ec.3 y el paso entre los cangilones instalados, Ec.4.

También se deberá comprobar que el paso entre ellos este comprendido entre el rango de (2C,3C) mencionado en el capítulo 2.6.

### 3.3 Elementos motrices

Habiendo determinado la disposición de los cangilones, la velocidad de la banda elevadora y una producción deseada, se determinará qué elementos motrices serán necesarios para poder cumplir con los requisitos anteriores.

El primer elemento motriz será el tambor motriz, según las características vistas en el capítulo 2.1.

Para este elevador a estudiar, el tambor motriz considerado se encuentra sin recubrir y con una superficie seca.

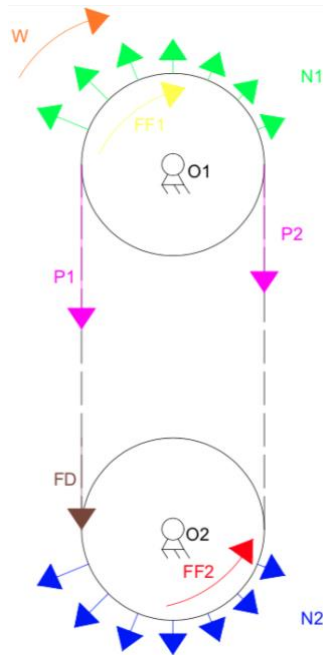
El segundo elemento será el grupo motor-reductor. Para poder determinar sus requerimientos, primero de todo se debe conocer los requerimientos de la instalación. [3], [3], [4], [6]

Estos estarán formados por dos casos:

- Funcionamiento a velocidad constante:

Este caso corresponde al equipo funcionando bajo las condiciones de trabajo habituales, es decir a plena carga y con una velocidad constante.

Para este caso, el diagrama de cuerpo libre la banda elevadora es el siguiente:



Una vez definidas las fuerzas que actúan sobre el conjunto del elevador de cangilones, mediante la combinación de la Ec.5 y Ec.6, obtenemos la Ec.7.

Operando dicha ecuación se obtiene la Ec.8 para poder determinar el par necesario para accionar el sistema.

Para poder resolver la Ec.8, es necesario resolver previamente la Ec.9, Ec.10, Ec.11, Ec.12, Ec.13, Ec.14, Ec.15, Ec.16, Ec.17, Ec.18 y Ec.19.

También se evaluará la potencia necesaria para poder accionar el sistema en la Ec.20.

Ilustración 63: Diagrama cuerpo libre fuerzas sobre banda elevadora

- Arrancada:

Durante un proceso de arrancada con un motor eléctrico, la entrega del par debe ser mayor al par nominal, como se puede ver en la imagen adjunta. [2]–[4], [11]

Para poder comprobar cómo se va a comportar en la instalación bajo estas circunstancias, se deberá conocer el par máximo que entrega el motor durante el proceso de arrancada, obtenido de la relación expresada en la Ec.21, proveniente de los datos de fabricante del motor eléctrico.

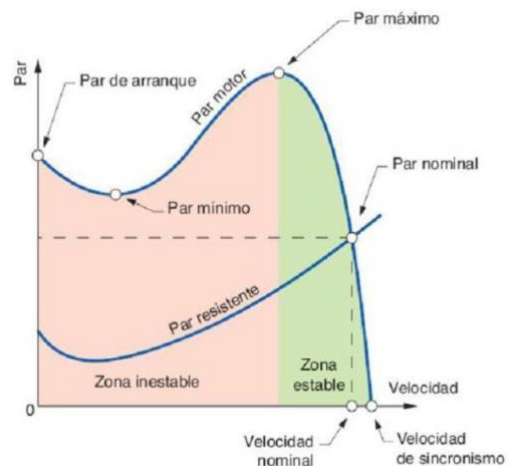


Ilustración 64: Gráfica par VS velocidad angular motor eléctrico

Una vez conocidas las situaciones a que deber1 enfrentarse el motor-reductor, se determinaran las caracter1sticas del equipo necesario.

En este caso se realizar1n los c1culos sobre motores el1ctricos de 4 polos con una velocidad de giro aproximada de  $1450-1500 \text{ min}^{-1}$ . [11]

A partir de la velocidad de la banda elevadora y la del motor el1ctrico, mediante la Ec.22, se determinar1 el reductor de velocidad necesaria.

Para determinar el par m1nimo que deber1 tener el motor el1ctrico para funcionar en condiciones de trabajo normales, a trav1s de la Ec.24, siendo necesario el uso previo de la Ec.23 para determinar el rendimiento del conjunto motor-reductor a partir de los datos proporcionados por el fabricante.

Mediante la Ec.25 se determinar1 la potencia resultante del motor el1ctrico, previa resoluci3n de la Ec.26.

Una vez est1n todos los par1metros del grupo motor-reductor determinados, se deber1 determinar el factor de servicio m1nimo en funci3n de las caracter1sticas mencionadas en la tabla 6, ubicada en el apartado 2.1. [2], [3], [12]

La determinaci3n del factor de servicio del motor el1ctrico se realizar1 mediante la Ec.27 como un cociente entre la potencia entregada por el motor el1ctrico en la salida del motor-reductor, contemplando el rendimiento del motor-reductor, y la potencia necesaria en el tambor motriz para accionar el sistema.

Para el caso objeto de estudio, el elevador de cangilones funcionar1 una media de 15-17 horas diarias, presentando una entrada constante de material todo y que su funcionamiento no corresponde exactamente al de una carga completamente lineal.

El dragado del material a elevar provoca una carga entre media y a choques, por lo que el factor de servicio necesario deber1 ser como m1nimo 2,75.

Por otro lado, el factor de servicio del reductor vendr1 dado por el fabricante ya que se incluye la resistencia mec1nica de sus componentes internos.

Para evitar el giro del elevador en el sentido contrario al de giro cuando el elevador no esta funcionando, como mencionado en el apartado 2.1, es necesario la instalación de una rueda libre. [7]

Su colocación en el eje del tambor motriz se muestra en la siguiente imagen.

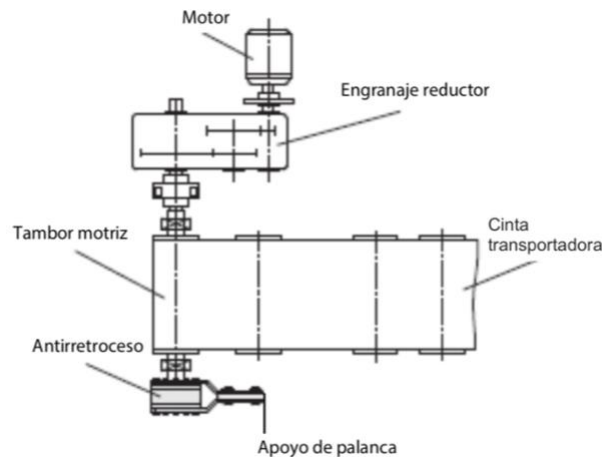


Ilustración 65: Colocación rueda libre

Para finalizar, se deberá comprobar los ejes del tambor motriz, como mencionado en el apartado 2.6. [41]

Primero de todo se deberán definir las cargas distribuidas que actúan sobre los tres tramos del tambor motriz.

El conjunto del tambor motriz, formado por el tambor y el eje, esta dividido en tres zonas en función de los elementos que se encuentran en ellas.

- Zona eje correspondiente a L1: Esta longitud del eje solamente esta sometida al propio peso del eje y al par torsor proveniente del motor-reductor.  $\rightarrow L_1 (m) = 0,25$
- Zona tambor correspondiente a L2: Esta zona es la sometida a mayores fuerzas, su propio peso propio, las tensiones generadas por la banda elevadora y al par torsor, correspondiendo al largo del tambor.  $\rightarrow L_2 (m) = 0,35$
- Zona eje correspondiente a L3: Esta longitud del eje solamente esta únicamente sometida al propio peso del eje.  $\rightarrow L_3 (m) = 0,25$

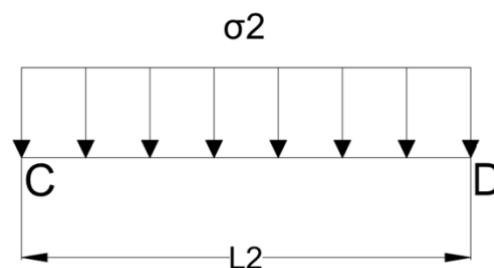


Ilustración 66: Cargas distribuidas sobre tambor motriz

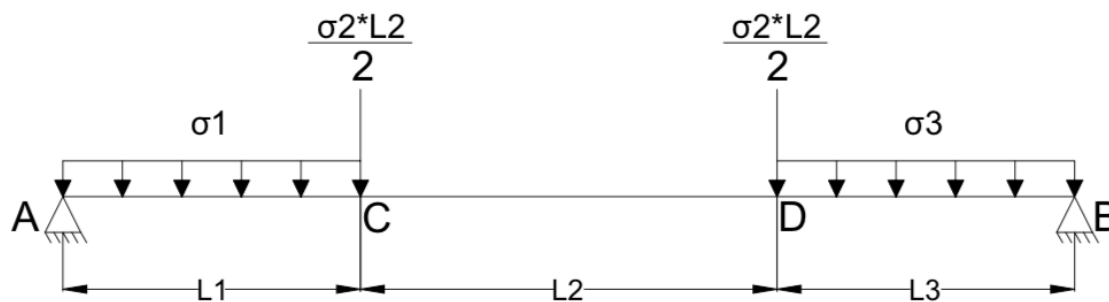


Ilustración 67: Cargas distribuidas sobre eje tambor motriz

El primer paso será la determinación de las cargas distribuidas correspondientes a las tres zonas mencionadas previamente, mediante las Ec.28, Ec.29 y Ec.30.

Una vez obtenidas las cargas distribuidas, se procederá a calcular las reacciones verticales sobre los rodamientos en los puntos A y B, mediante las Ec.31 y Ec.33 para poder determinar la reacción vertical en A con la Ec.34 y en B con la Ec.32.

El análisis del eje se dividirá en las tres zonas anteriores, obteniendo las siguientes ecuaciones para la determinación de los momentos flectores  $M(X)$ , esfuerzos cortantes  $Q(X)$  y momento torsor  $MT(X)$ :

Tabla 20: Fuerzas sobre el tambor motriz

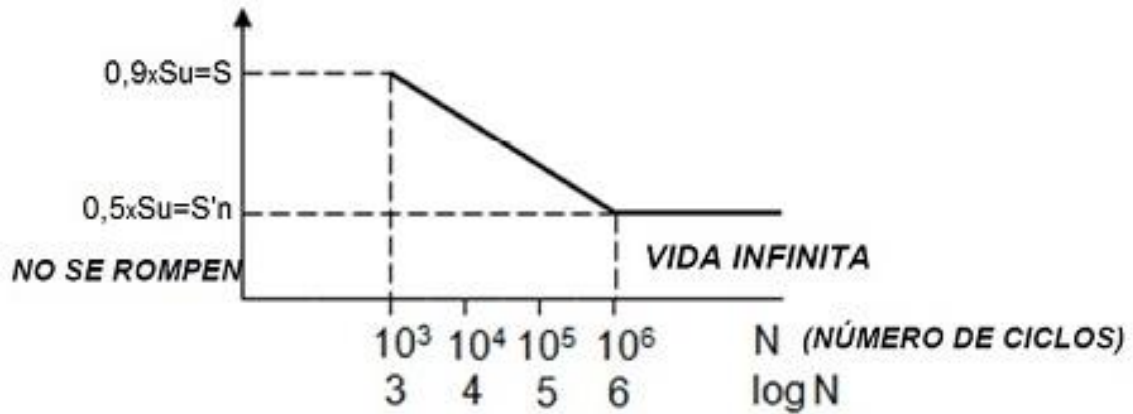
$0 \leq X \leq L_1$	$L_1 \leq X \leq L_2$	$L_2 \leq X \leq L_3$
$M_F(X) \rightarrow \text{Eq. 35}$	$M_F(X) \rightarrow \text{Eq. 37}$	$M_F(X) \rightarrow \text{Eq. 39}$
$Q(X) \rightarrow \text{Eq. 36}$	$Q(X) \rightarrow \text{Eq. 38}$	$Q(X) \rightarrow \text{Eq. 40}$
$MT(X) = 2892,52$	$MT(X) = 0$	$MT(X) = 0$
$N(X) = 0$	$N(X) = 0$	$N(X) = 0$

Una vez obtenidas todas las fuerzas y momentos en toda la longitud de los ejes del tambor motriz, utilizando el teorema de la tensión equivalente de Von-Mises se podrá determinar la tensión sobre las diferentes secciones de los ejes del tambor motriz y determinar el coeficiente de seguridad de dichas secciones.



Como mencionado en el apartado 2.6, para evitar cualquier fallo por fatiga del material, cualquier coeficiente de seguridad deber3 ser mayor a 3. Se puede observar en el diagrama S-N del acero, para obtener una vida infinita en una pieza, debe tener un coeficiente de seguridad de 2, que combinado con coeficiente de seguridad impuesto sobre la pieza de 1,5 forman un coeficiente total de 3.

Esta afirmaci3n se puede realizar porque la secci3n de la pieza es constante.



Ilustraci3n 68: Diagrama S-N acero

Para calcular los términos de la ecuación de la tensión de Von-Mises, se deberá calcular el momento flector máximo en la Ec.41, el esfuerzo axial máximo en la Ec.43 y el momento torsor máximo en la Ec.44. Este momento torsor será producido durante el momento de la arrancada.

La resolución de las Ec.41 y Ec.44 necesitan de la previa resolución de los momentos de resistencia expresados en las Ec.42 y Ec.45, que han sido deducidas en función de la geometría del eje, como se muestra en la siguiente tabla:

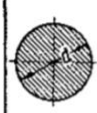
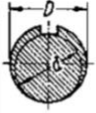




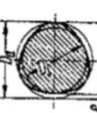
							
	Ejes lisos	Eje ranurado	Eje con orificio transversal	Eje dentado	Eje nervado	Eje poligonal P3	Eje poligonal PC4
$W_b$	$\approx 0,1d^3$	$\approx 0,1D^3$	$\approx \frac{D^3}{10} - \frac{dD^2}{6}$	$\approx 0,1 \left( \frac{D+d}{2} \right)^3$	$\approx 0,1 \left( \frac{D+d}{2} \right)^3$	$\approx 0,1 \frac{D_m^4}{D_a}$	$\approx 0,15 D_1^3$
$W_t$	$\approx 0,2d^3$	$\approx 0,2d^3$	$\approx 2 W_b$	$\approx 0,2 \left( \frac{D+d}{2} \right)^3$	$\approx 0,2 \left( \frac{D+d}{2} \right)^3$	$\approx 0,2 D_1^3$	$\approx 0,2 D_1^3$
$I_b$	$\approx 0,05d^4$	$\approx 0,05D^4$	$\approx \frac{D^4}{20} - \frac{dD^3}{12}$	$\approx 0,05 \left( \frac{D+d}{2} \right)^4$	$\approx 0,05 \left( \frac{D+d}{2} \right)^4$	$\approx 0,05 D_m^4 - 1,2 D_m^3 e^3$	$\approx 0,075 D_1^4$
$I_t$	$\approx 0,1d^4$	$\approx 0,1d^4$	$\approx 2 I_b$	$\approx 0,1 \left( \frac{D+d}{2} \right)^4$	$\approx 0,1 \left( \frac{D+d}{2} \right)^4$	$\approx 0,1 D_m^4 - 2,4 D_m^3 e^3$	$\approx 0,14 D_1^4$

Ilustración 69: Momentos de resistencia, contra flexión, torsión y momentos inercia de distintas secciones de ejes

Una vez obtenidas las Ec.41, Ec.42, Ec.43, Ec.44 y Ec.45 se podrá calcular la Ec.46 finalmente obteniendo la tensión de Von-Mises.

Mediante la Ec.47 obtendremos el coeficiente de seguridad en el eje del tambor motriz.

Los puntos estudiados dentro de las tres zonas corresponden a las siguientes longitudes del eje del tambor motriz:

Punto A (m)  $\rightarrow 0$

Punto C (m)  $\rightarrow L_1$

Punto C-D (m)  $\rightarrow L_1 + \frac{L_1}{2}$

Punto D (m)  $\rightarrow L_1 + L_2$

Punto B (m)  $\rightarrow L_1 + L_2 + L_3$

Unión reductor (m)  $\rightarrow 0,035$  antes del inicio del punto inicial del eje del tambor motriz

Debido a que el eje del tambor motriz es el más restrictivo, el eje del tambor de reenvío se ha dimensionado igual que el motriz, a modo de seguridad.

El tambor de reenvío va a recibir una menor sollicitación de fuerzas, así que se dimensionara igual que el tambor motriz, siendo este es el más restrictivo.

El ultimo paso de la comprobación del eje del tambor motriz, consistirá en la comprobación de la chaveta, para determinar sus dimensiones y comprobar que coinciden con las dimensiones proporcionadas por el fabricante del reductor. [43]

El material usado en la chaveta es diferente al del eje del tambor motriz, siendo este acero al carbono F114. Para esta aplicación se va a usar una chaveta paralela modelo DIN-6885/1. Se ha utilizado un factor de seguridad igual a 3 en la chaveta para evitar realizar cálculos por fatiga.

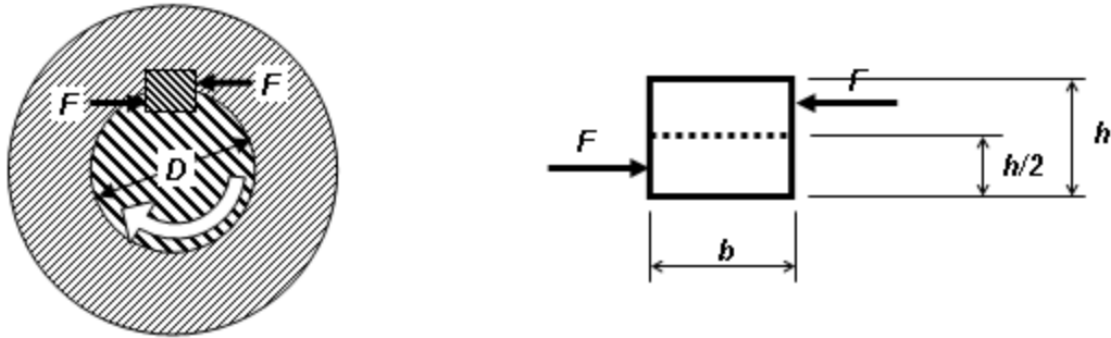


Ilustración 70: Fuerzas aplicadas sobre la chaveta

El primer paso será determinar la fuerza ejercida sobre la chaveta, a partir de la Ec.66. El calculo de la chaveta consta de dos comprobaciones, el fallo por cizallamiento y el fallo por aplastamiento.

Para poder realizar los cálculos explicados a continuación, se deberán determinar las dimensiones del ancho y la altura de la chaveta, ya que dichos parámetros están estandarizados en función del diámetro del eje donde se ubicarán.

Tabla 21: Medidas chaveta DIN-6885/1

Diámetro eje (mm)	17-22	22-30	30-38	38-44	44-50	50-58	58-65	65-75	75-85
Medidas chaveta $b_{CH} \times h_{CH}$ (mm)	6x6	8x7	10x8	12x8	14x9	16x10	18x11	20x12	22x14

Empezando por la comprobación del fallo por cizallamiento, a partir de la Ec.67 y Ec.68 se determinará la longitud de la chaveta por cizallamiento en la Ec.69.

Siguiendo por la comprobación por aplastamiento, partiendo de la Ec.70 y Ec.71, se evaluará la longitud de la chaveta por aplastamiento en la Ec.72.

Finalmente, de la Ec.73 se tomará la longitud real de la chaveta.

### 3.4 Elección de la banda elevadora

Una vez todos los parámetros referentes a los cangilones y los elementos motrices están definidos, se deberá elegir la banda elevadora adecuada que pueda soportar las tensiones generadas por las cargas, par y acciones determinadas en el apartado 3.2 y 3.3. [2], [3], [16]

El primer paso es la determinación de las tensiones en los dos ramales de la banda elevadora para los dos casos mencionados en el apartado 3.3.

A partir del diagrama de cuerpo libre de la banda elevadora mostrado en la ilustración 66 y la Ec.48, se podrá determinar la tensión del ramal entrante en la Ec.49.

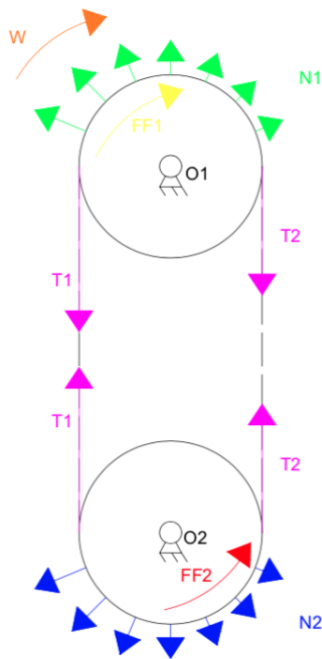


Ilustración 71: Diagrama cuerpo libre tensiones sobre banda elevadora

Para evitar el deslizamiento de la banda elevadora sobre el tambor motriz, se empleará la ecuación de Euler-Eytelwein, expresada en la Ec.50.

La ecuación de Euler-Eytelwein es la ecuación fundamental que describe la tensión de una correa sobre una polea, siendo extrapolada para nuestro caso a una banda elevadora sobre el tambor motriz y el de reenvío.

La diferencia de tensiones entre el ramal entrante ( $T_1$ ) y el saliente ( $T_2$ ) en el tambor motriz, se deben al par motriz y se compensan por el rozamiento entre la superficie del tambor y la banda elevadora.

De esta manera, la capacidad del elevador para trabajar sin que deslice la banda elevadora sobre el tambor motriz esta directamente relacionada con el coeficiente de fricción del tambor motriz y como consecuencia la tensión inicial sobre la banda elevadora.

Mediante la combinación de las Ec.49 y Ec.50, se obtiene la tensión sobre el ramal saliente ( $T_2$ ), Ec.51.

La obtención de las tensiones anteriores no es posible si no se aplica una tensión inicial a la banda elevadora, mediante el tensor ubicado en el pie del elevador, como se ha explicado en el apartado 2.1

La tensión inicial sobre la banda elevadora para evitar que la banda elevadora deslice sobre el tambor motriz bajo las condiciones de trabajo, se obtiene de la Ec.52. La condición de trabajo más restrictiva siempre será la del momento de la arrancada, como se ha mostrado en el apartado 3.3 mediante la Ec.21.

Determinadas todas las tensiones existentes sobre la banda elevadora, se puede calcular la carga por unidad de longitud. Este valor es el que determinara el modelo de banda elevadora que se requiere instalar en el elevador considerado.

Mediante la Ec.53, se podrá determinar la carga por unidad de tensión calculada en la Ec.54.

Una vez elegida la banda adecuada para el elevador estudiado, se determinará el factor de servicio de carga por unidad de longitud, Ec.55.

En las propiedades de la banda elevadora se deberán incluir que es apta para zonas ATEX.

### 3.5 Elementos seguridad

Debido a que el elevador a estudiar no dispone de ningún tipo de sistema de seguridad se deberá realizar un sistema de seguridad al completo. [19]–[22], [44]

Como se ha descrito en el apartado 2.4, los componentes elegidos para formar el sistema de seguridad, son los siguientes:

- Desalineación de banda: 4 unidades. 2 de ellas colocadas en el tambor motriz y las otras dos en el tambor de reenvío. [23]
- Temperatura rodamientos: 4 unidades de punta fija. 2 colocadas en los rodamientos del eje del tambor motriz y las otras 2 en los rodamientos del eje del tambor de reenvío. Deben tener rosca NPT 1/4" para poder encajar con los engrasadores existentes [24]
- Velocidad/giro: 1 base con objetivo, 1 conector magnético y 1 sensor de baja velocidad. Todos ellos instalados en el eje del tambor de reenvío. [27]
- Obstrucción tubo descarga: 1 unidad. Instalada en el tubo de descarga, en una posición cercana a la boca de descarga del elevador para poder detectar una posible obstrucción a la salida de material del elevador. [28]
- Unidad de control: 1 unidad [31]
- Seguridad magnética: 1 unidad. Su colocación será a la entrada del material en el pie del elevador. [34]

Toda la colocación de los sensores se muestra en la ilustración 25.

- Paneles de venteo: El cálculo del área total de venteo necesaria en función de las dimensiones del elevador a estudiar, está estipulado por la norma EN 14491:2012 mencionada en el apartado 2.3. [20], [32], [33]

El primer paso para realizar el cálculo de el área de venteo necesaria, se deben definir los parámetros que establecen las condiciones de funcionamiento de los paneles de venteo y las condiciones de la explosión.

El valor de dichos parámetros deberá estar acotado dentro de un rango estipulado. Estos parámetros son los expresados en la siguiente tabla:

Tabla 22: Valores requeridos calculo área venteo

Parámetro		Rango valores
$P_{MAX}$ (bar g)	7,5	$1,1 \text{ (bar g)} < P_{MAX} < 10 \text{ (bar g)}$
$K_{ST}$ (bar · m/s)	120	$10 \text{ (bar · m/s)} < K_{ST} < 300 \text{ (bar · m/s)}$ si $5 \text{ (bar g)} < P_{MAX} < 10 \text{ (bar g)}$ $300 \text{ (bar · m/s)} < K_{ST} < 800 \text{ (bar · m/s)}$ si $5 \text{ (bar g)} < P_{MAX} < 12 \text{ (bar g)}$
$P_{RED,MAX}$ (bar g)	0,5	$0,1 \text{ (bar g)} < P_{RED,MAX} < 2 \text{ (bar g)}$
$P_{SAT}$ (bar g)	0,1	$0,1 \text{ (bar g)} < P_{SAT} < 1 \text{ (bar g)}$

Una vez están los parámetros de venteo definidos, se deberá comprobar la relación descrita en la Ec.57, tomando  $L_E$  como la longitud total del elevador en metros y  $D_E$  del valor obtenido en la Ec.56, en metros también.

Debido a que la relación de la Ec.57 debe ser menor a 20, no se podrá definir toda la longitud del elevador como una única área de venteo. Se debe dividir el elevador en 4 zonas de venteo ( $n_A$ ), cumpliendo así con la relación de la Ec.57 menor a 20.

Posteriormente se procede a la resolución de las Ec.58, Ec.59, Ec.60 y Ec.61 para obtener el área de venteo necesaria por cada zona de venteo determinada ( $n_A$ ).

Obteniendo la eficiencia de venteo de la Ec.62, se podrá resolver la Ec.63, obteniendo el área total de venteo de la instalación.

Se podrá determinar el número de paneles de venteo en la zona de la caña del elevador, Ec.64 y entonces determinar el número total de paneles de venteo mediante la Ec.65 siendo la suma de los paneles ubicados en la caña y en la cabeza del elevador. El número de paneles ubicados en la cabeza del elevador siempre será 1.

La colocación de los paneles se deberá realizar dentro de la zona de venteo determinada ( $n_A$ ), respetando una distancia lo más equidistante posible entre los paneles de venteo.

Los paneles ubicados en la cabeza del elevador y el más próximo al pie del elevador se dotarán de un sistema apaga llama para evitar posibles daños a los trabajadores que puedan estar cerca de estas zonas. El resto de zonas están suficientemente alejadas de las zonas de paso o acceso del elevador para no ser necesaria la instalación del sistema apaga llamas.



## 4 Resultados

En el siguiente apartado se mostrarán los resultados obtenidos a partir de la metodología descrita en el apartado 3 y las restricciones mencionadas en el apartado 2.6.

Los cálculos han sido obtenidos mediante una plantilla de calculo realizada con Microsoft Excel.

### 4.1 General

Tabla 23: Resultados estudio apartado general

PARÁMETRO		DESPUÉS DEL ESTUDIO
GENERAL	Capacidad deseada $Q_D (Tn/h)$	20
	Tipo descarga	Centrífuga
	Velocidad banda elevadora $v_B (m/s)$	1,57
MATERIAL A ELEVAR	Tipo	Trigo
	Densidad $\rho (kg/m^3)$	750
	Factor llenado $F_{LL}$	0,7
DIMENSIONES DISEÑO ELEVADOR	Distancia entre centros $D_{CT} (m)$	20
	Ancho caña $X_E (mm)$	350
	Largo caña $Y_E (mm)$	300
	Nº cañas elevador	2

### 4.2 Cangilones

Tabla 24: resultados estudio apartado cangilones

PARÁMETRO		DESPUÉS DEL ESTUDIO
CANGILONES	Modelo	SPS200-160
	Paso $d_C (mm)$	260
	Unidades $n_C$	159

### 4.3 Banda elevadora

Tabla 25: Resultados estudio apartado banda elevadora

PARÁMETRO		DESPUÉS DEL ESTUDIO
BANDA ELEVADORA	Longitud $L_B$ (m)	41,57
	Ancho $A_B$ (mm)	260
	Carga por unidad de longitud $\sigma_B$ (N/mm)	800
	Certificación ATEX	SI
	Tipo	EP 800/4 2+2 KG
	$C_\sigma$	1,12

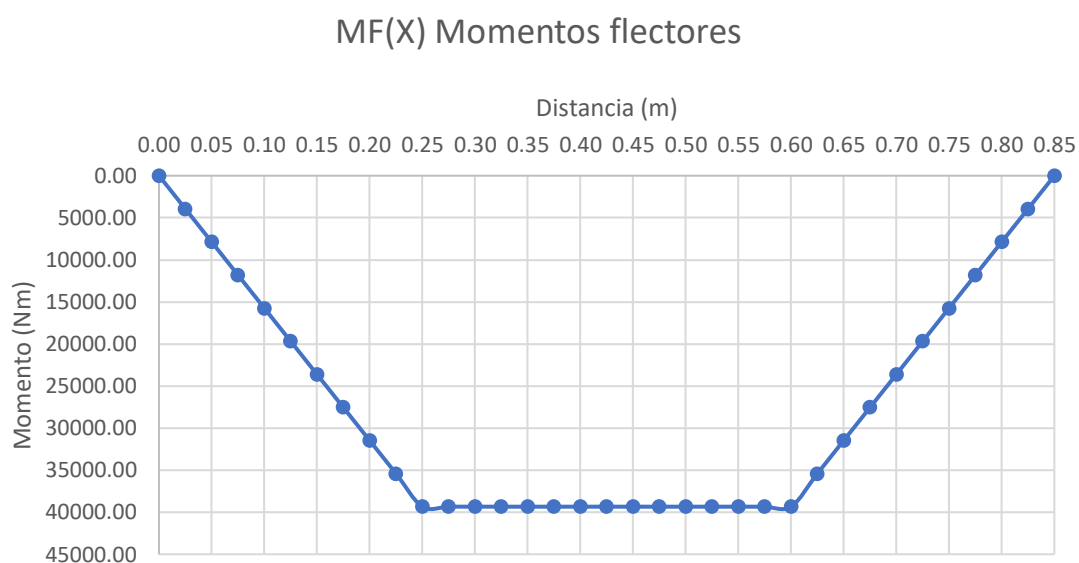
### 4.4 Elementos motrices

Tabla 26: Resultados estudio apartado elementos motrices

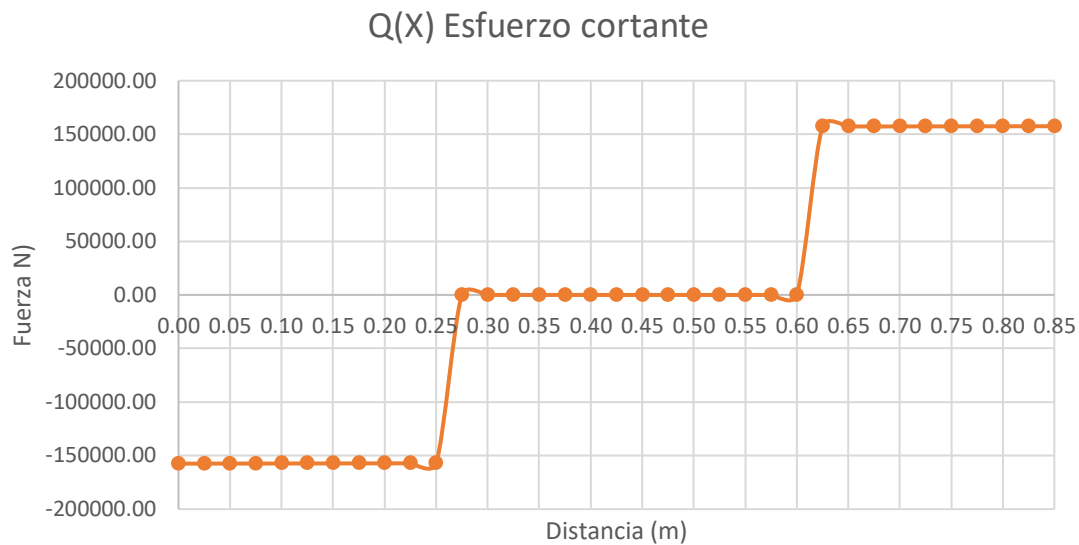
PARÁMETRO		DESPUÉS DEL ESTUDIO
TAMBOR MOTRIZ	Diámetro tambor $\phi_{T1}$ (mm)	500
	Largo tambor (mm)	350
	Recubrimiento	NO
	Diámetro eje $\phi_{ET1}$ (mm)	145
	Diámetro eje unión reductor $\phi_{ETM1}$ (mm)	70
	Rueda libre	SI
TAMBOR REENVÍO	Diámetro tambor $\phi_{T2}$ (mm)	500
	Largo tambor (mm)	350
	Diseño	Jaula de ardilla
	Diámetro eje $\phi_{ET2}$ (mm)	145
MOTO-REDUCTOR	Potencia $POT_M$ (W)	5500
	Relación transmisión $\tau$	24,46
	Tipo	Helicoidales
	Factor Servicio motor eléctrico $F.S.$	2,70
	Factor Servicio reductor	3,7
	Rendimiento $\eta_{MR}$	0,84

Tabla 27: Resultados tensión de Von-Mises en los diferentes puntos del tambor motriz

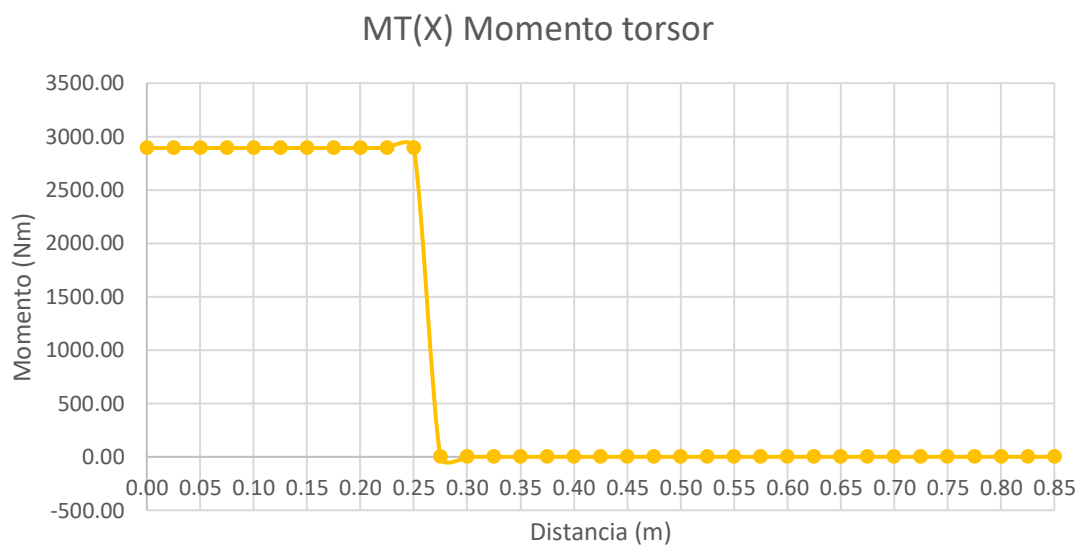
Punto/Tensión	$\sigma_{FMAX} (N/mm^2)$	$\sigma_N (N/mm^2)$	$\zeta_{TMAX} (N/mm^2)$	$\sigma_{VM} (N/mm^2)$	C.S.
Punto A	0,00	0,00	1,22	2,11	130,53
Punto C	64,53	0,00	1,22	64,57	4,26
Punto D	64,53	0,00	1,22	64,56	4,26
Punto B	0,01	0,00	1,22	2,11	130,52
Unión reductor	80,37	0,00	10,81	82,52	3,33



Grafica 4: Momentos flectores obtenidos eje tambor motriz



*Grafica 5: Esfuerzos cortantes obtenidos eje tambor motriz*



*Grafica 6: Momento torsor obtenido eje tambor motriz*

## 4.5 Elementos seguridad

Tabla 28: Resultados estudio apartado elementos seguridad

PARÁMETRO		DESPUÉS DEL ESTUDIO
SISTEMA DE SEGURIDAD	Desalineación banda	4 unidades Touchswitch
	Temperatura rodamientos	4 unidades WDB810V3AI
	Velocidad-giro	1kit Whirligig, MAG2000M y M3003V10AI
	Atasco-obstrucción tubo descarga	1 unidad Autaset
	Unidad control	1 unidad Watchdog
	Seguridad magnética	1 unidad Chute magnet
	Panel venteo	7 unidades Eleguard 300x500mm y 2 unidades Elequench

La ubicación de los paneles de venteo se realizará en las siguientes zonas, ver ilustración 67:

- Una unidad con apaga llamas en la cabeza del elevador.
- 2 unidades en una cota con altura de 15 metros. Una unidad por caña.
- 2 unidades en una cota con altura de 9 metros. Una unidad por caña.
- 2 unidades con apaga llamas en una cota con altura de 3 metros. Una unidad por caña.

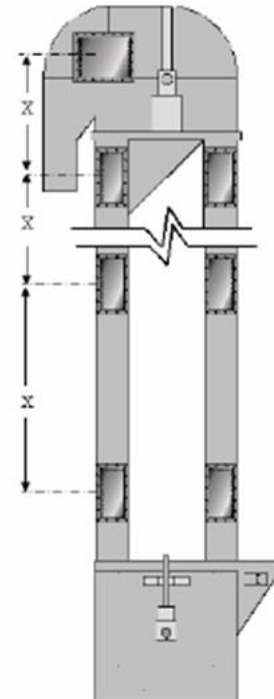


Ilustración 72: Ubicación paneles de venteo

## 5 Discusión de los resultados

Una vez realizado el estudio del elevador de cangilones y analizados los resultados obtenidos, se debe comprobar que los resultados obtenidos cumplan con los requisitos establecidos en el apartado 2.5, así como con toda la normativa especificada en el apartado 2.6.

A continuación, se detalla en los siguientes apartados, la discusión de los resultados obtenidos.

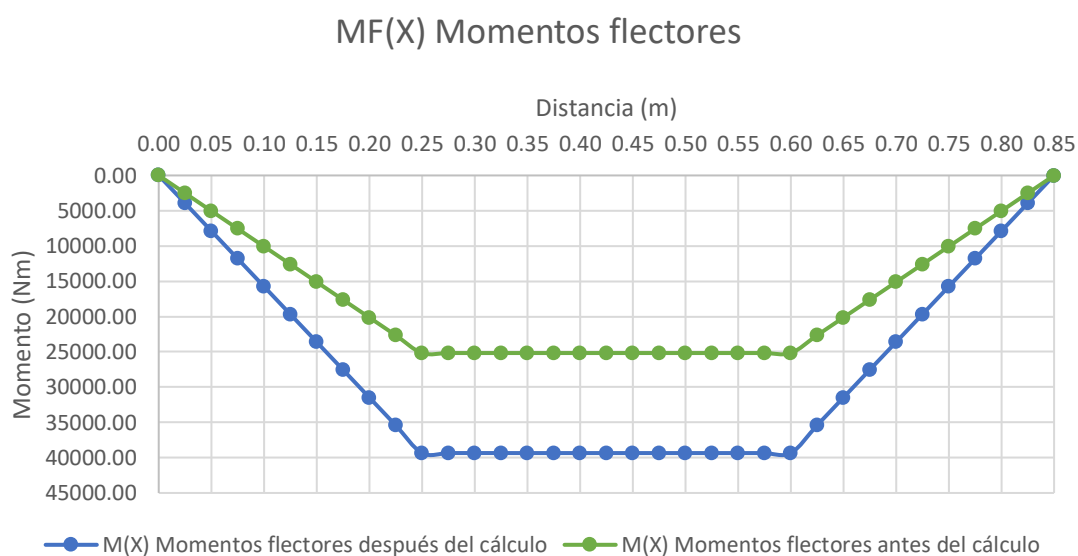
## 5.1 Comparativa con requerimientos previos

Tabla 29: Comparativa elementos anterior y posteriormente al estudio

PARÁMETRO		ANTES ESTUDIO	DEL	DESPUÉS ESTUDIO	DEL
GENERAL	Capacidad deseada $Q_D (Tn/h)$	12		20	
	Tipo descarga	Centrífuga		Centrífuga	
	Velocidad banda elevadora $v_B (m/s)$	1,30		1,57	
MATERIAL ELEAR	A Tipo	Trigo		Trigo	
	Densidad $\rho (kg/m^3)$	750		750	
	Factor llenado $F_{LL}$	0,8		0,7	
DIMENSIONES DISEÑO ELEVADOR	Distancia entre centros $D_{CT} (m)$	20		20	
	Ancho caña $X_E (mm)$	350		350	
	Largo caña $Y_E (mm)$	300		300	
	Nº cañas elevador	2		2	
TAMBOR MOTRIZ	Diámetro tambor $\phi_{T1} (mm)$	500		500	
	Largo tambor (mm)	350		350	
	Recubrimiento	NO		NO	
	Diámetro eje $\phi_{ET1} (mm)$	95		145	
	Diámetro eje unión reductor $\phi_{ETM1} (mm)$	50		70	
	Rueda libre	SI		SI	
TAMBOR REENVÍO	Diámetro tambor $\phi_{T2} (mm)$	500		500	
	Largo tambor (mm)	350		350	
	Diseño	Jaula de ardilla		Jaula de ardilla	
	Diámetro eje $\phi_{ET2} (mm)$	95		145	
MOTO- REDUCTOR	Potencia $POT_M (W)$	3000		5500	
	Relación transmisión $\tau$	29,24		24,46	
	Tipo	Engranajes rectos		Helicoidales	
	Factor Servicio motor eléctrico $F.S.$	2,4		2,7	
	Factor Servicio reductor	2,7		3,7	
	Rendimiento $\eta_{MR}$	0,80		0,84	
CANGILONES	Modelo	SPS160-140		SPS200-160	
	Paso $d_C (mm)$	290		260	
	Unidades $n_C$	142		159	
BANDA ELEVADORA	Longitud $L_B (m)$	41,57		41,57	
	Ancho $A_B (mm)$	220		260	
	Carga por unidad de longitud $\sigma_B (N/mm)$	630		800	
	Certificación ATEX	SI		SI	
	Tipo	EP 630/3 1,5+1,5 KG		EP 800/4 2+2 KG	
	$C_\sigma$	1,14		1,12	
SISTEMA SEGURIDAD	DE Desalineación banda	NO		4	
	Temperatura rodamientos	NO		4	
	Velocidad-giro	NO		1	
	Atasco-obstrucción tubo descarga	NO		1	
	Unidad control	NO		1	
	Seguridad magnética	NO		1	
	Panel venteo	NO		7	

Tabla 30: Comparativa resultados tensión de Von-Mises en los diferentes puntos del tambor motriz

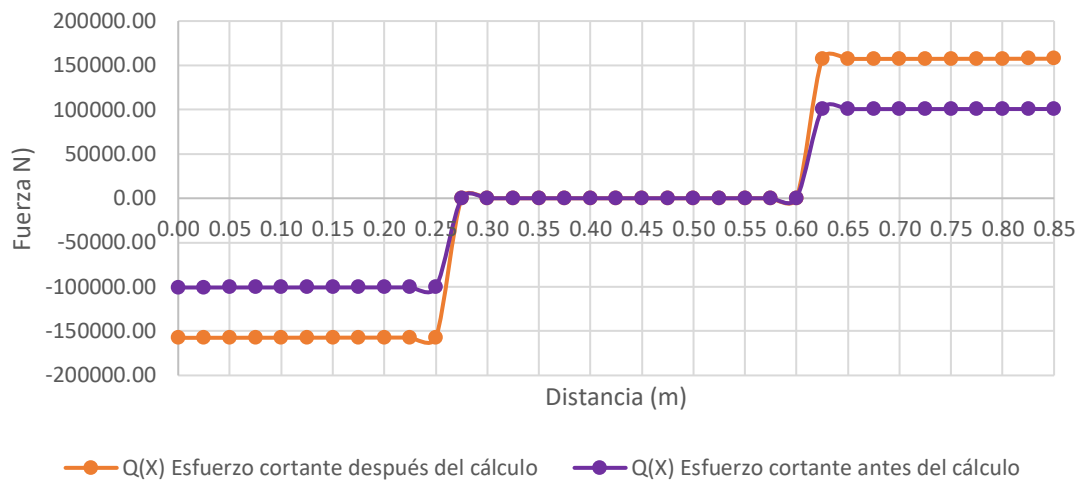
Punto/Tensión	$\sigma_{FMAX} (N/mm^2)$		$\sigma_N (N/mm^2)$		$\zeta_{TMAX} (N/mm^2)$		$\sigma_{VM} (N/mm^2)$		C.S.	
	A.E.	D.E.	A.E.	D.E.	A.E.	D.E.	A.E.	D.E.	A.E.	D.E.
Punto A	0,00	0,00	0,00	0,00	2,24	1,22	3,89	2,11	70,76	130,53
Punto C	146,78	64,53	0,00	0,00	2,24	1,22	146,83	64,57	1,87	4,26
Punto D	146,79	64,53	0,00	0,00	2,24	1,22	146,84	64,56	1,87	4,26
Punto B	0,01	0,01	0,00	0,00	2,24	1,22	3,89	2,11	70,76	130,52
Unión reductor	141,04	80,37	0,00	0,00	15,39	10,81	143,53	82,52	1,92	3,33
Siendo A.E. antes del estudio y D.E. después del estudio.										



Grafica 7: Comparativa momentos flectores

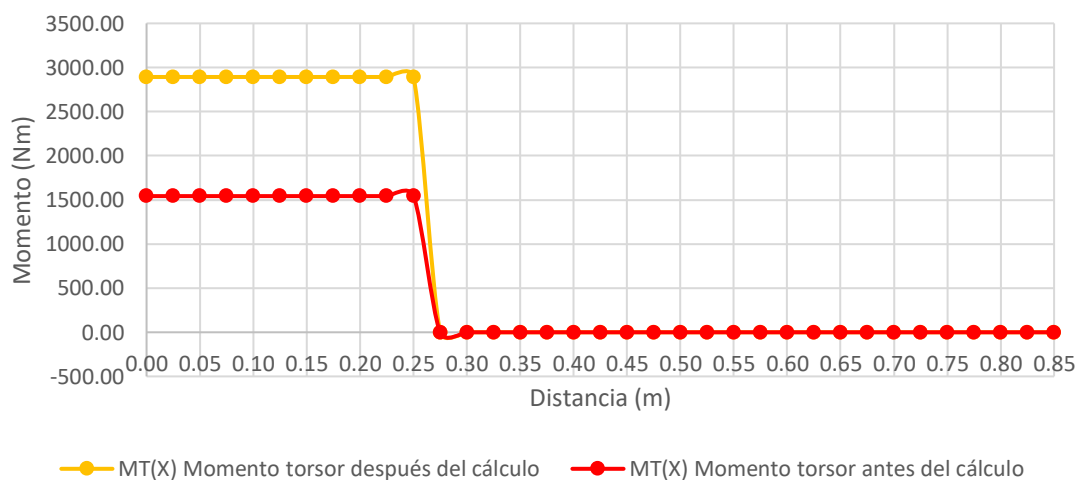


### Q(X) Esfuerzo cortante



Grafica 8: Comparativa esfuerzo cortante

### MT(X) Momento torsor



Grafica 9: Comparativa momento torsor

## 5.2 Cumplimiento normativas

El cumplimiento de las normativas especificadas en el apartado 2.3 es de obligado cumplimiento, así que se debe asegurar que todos los elementos y procedimientos empleados cumplen con dichas normativas.

Las bandas elevadoras empleadas son de la marca Refortbelt, cumpliendo con las normativas DIN 22102-1:2014-01 y ISO 251:2003, como se puede observar en la ficha técnica del producto, ubicada en el anexo 2.

Debido a que el elevador no es de nueva construcción, en el anterior proyecto de construcción ya se cumplió con la normativa UNE 58-222-87.

La protección por venteo contra explosiones de polvo se ha realizado acorde a la normativa EN 14491:2012, cuyos procedimientos se pueden ver en el apartado 2.3 y 3.5. Los paneles de venteo y apaga llamas cumplen con la normativa como se puede ver en las fichas técnicas, ubicadas en el anexo 3.

Todos los componentes electrónicos usados para el sistema de seguridad, así como el motor eléctrico empleado en el motor-reductor, cumplen con las normativas para el material eléctrico instalado en ambientes explosivos de polvo, gas y vapores UNE-EN 60079-10, UNE-EN 60079-10-1:2016, UNE-EN 1127-1:2012 y UNE-EN 61241-10:2005, como se puede ver en las fichas técnicas, ubicadas en el anexo 3.

### 5.3 Posibles mejoras

Una vez analizados los resultados obtenidos, todo y cumplir con los requisitos establecidos en el apartado 2.5 y con la normativa mencionada en el apartado 2.3, se puede continuar el estudio para implementar una serie de mejoras que ayuden a mejorar la capacidad del elevador de cangilones y a optimizar el uso de energa necesario para su funcionamiento.

La primera de las mejoras serla realizaci3n de un estudio con elementos finitos para poder calcular el factor de llenado real de los cangilones.

Conociendo la trayectoria del material a elevar durante la transici3n entre la boca de carga y el cangil3n, conjuntamente con el material real que es dragado del fondo del liner, se obtendrfa el valor exacto del factor de llenado de los cangilones.

El conocimiento exacto de este factor, permitirfa aproximar m1s la capacidad real del elevador, pudiendo incluso reducir el n1mero total de cangilones existentes para la capacidad deseada.

Otro aspecto importante serfa la determinaci3n exacta de la fuerza de dragado, ya que esta fuerza no tiene un valor constante y varfa en funci3n de la densidad del material, la velocidad de la banda elevadora, el volumen del material contenido en el interior del liner y la profundidad a la cual se draga el cangil3n. Mediante el valor exacto de este valor, se podrfa determinar una potencia m1s precisa para el grupo motor-reductor.

Durante el momento de la arrancada, se produce un pico de intensidad y de par sobre la banda elevadora, hasta que el motor alcanza su velocidad de funcionamiento, como se menciona en el apartado 3.3. Mediante el uso de un variador de frecuencia, se tendrfa la posibilidad de regular la velocidad y el par aplicados a la banda elevadora, pudiendo tener arranques y frenadas suaves y controlados reduciendo el par ejercido sobre la banda elevadora, asf como disponer de un margen de control sobre la cantidad elevada deseada mediante la variaci3n de la velocidad de la banda elevadora, siempre teniendo en cuenta no modificar el tipo de descarga.

Como consecuencia se alargarf la vida 1til del grupo motor-reductor y se obtendrfa un ahorro de energa notable.

Por último, se podría realizar un estudio de la trayectoria del material durante el proceso de descarga en la cabeza del elevador, permitiendo obtener una cantidad mínima de retorno de material.

Esta mejora debería ir implementada conjuntamente con el estudio por elementos finitos del factor de llenado de los cangilones y con el uso de un variador de frecuencia, ya que para poder determinar de forma correcta la trayectoria de la descarga del material, se necesita el valor exacto del peso de cada cangilón.

Mediante la variación de la velocidad de la banda elevadora se modificaría la fuerza centrífuga que actúa sobre el producto a elevar y como consecuencia su trayectoria y punto inicial de la descarga.

## 5.4 Conclusiones

Tras la finalización del estudio para la optimización de un elevador de cangilones y el análisis de los datos obtenidos, se puede concluir que se ha cumplido con los requerimientos establecidos para el nuevo diseño del elevador de cangilones.

A medida que se ha desarrollado el estudio de optimización, se ha llevado a cabo un proceso de búsqueda de información sobre diferentes componentes de varios proveedores, permitiendo comprender mejor el funcionamiento de todos los componentes y procesos existentes en un elevador de cangilones.

De este modo se han podido garantizar los parámetros y componentes más idóneos para garantizar las prestaciones y requerimientos establecidos al inicio de este trabajo de final de máster.

Durante el proceso de diseño se han presentado diferentes desafíos donde se han tenido que buscar soluciones innovadoras a partir de los conocimientos adquiridos durante los años de estudio del máster en ingeniería industrial.

También se han tenido que contemplar que dichas soluciones sean sencillas de fabricar e implementar para poder encajar dentro de un mercado muy competitivo y con una competencia amplia como es el del sector de la alimentación.

La selección de diferentes componentes para satisfacer los requerimientos establecidos tiene un coste mayor en comparación a otros posibles diseños ya que han empleado elementos de fabricación especial.

La elección de todos los elementos empleados en el estudio de optimización del elevador de cangilones se ha realizado con el criterio de buscar los componentes que satisfagan mejor dichos requerimientos dentro de las diferentes opciones existentes, sin optimizar en ningún caso el coste económico total reflejado en el apartado 6.

Finalmente remarcar la importancia del cumplimiento de todas las normativas mencionadas en el apartado 2.6 y el cumplimiento del objetivo primordial de este trabajo, reflejados en la tabla 18 del apartado 2.5.

## 6 Presupuesto

<b>Oferta de precios:</b> CO-6-2020	<b>Ref. cliente:</b> -	<b>Fecha:</b> 11 de mayo de 2020
-------------------------------------	------------------------	----------------------------------

<b>Cliente:</b> Cedric Ortiz Pena
<b>Aten.:</b> Cedric Ortiz Pena <b>e-mail:</b> cop2@alumnes.udl.cat

A continuación, le detallamos la oferta de precios que nos han solicitado:

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
<b>BANDA ELEVADORA</b>			
Metros de banda elevadora de caucho, marca Refortbelt de 260mm de ancho EP800/4 (2+2) KG anti-llama, anti-grasa y anti-calórica, con 2 taladros por línea M11 a 100mm entre centros y un paso de 260mm.	41,90	49,7	2082,43
Tornillos INOX, autobloc M10x50mm, completos, arandela plana y tuerca autoblocante DIN-15237.	318	1,74	553,32
Grapa Supergrip nº3 (segmentos de 50mm)	6	30,29	181,74
<b>CANGILONES</b>			
Cangilones Braime modelo SPS200-160 en HDP.	159	2,29	364,11
<b>TAMBOR MOTRIZ Y REENVÍO</b>			
Modificación tambor motriz de propiedad del cliente para adaptar a nuevo eje de diámetro 145mm con sujeción tipo tollabrock.	1	1470	1470
Eje para tambor motriz de propiedad del cliente con diámetro 145mm, longitud de 250mm, preparado para sujeción tipo tollabrock y una chaveta de 20x12x55mm. Fabricado en acero al carbono ST-37.	4	685	2740
<b>MOTOR-REDUCTOR</b>			
Motor trifásico ABB modelo M3GP 132SMB4, tamaño 112, potencia de 5500W, con brida B5 y certificación Ex tb IIIB T125C Db	1	375	375
Reductor Cidepa CKM-97.3 1/25 7,5 de las siguientes características: Potencia instalada: 5500W Relación: 25 Diámetro eje salida: 70mm Preparado para acoplar motor B5 Montaje: Patas Factor de servicio: 3,75 Par nominal; 911Nm	1	2683,3	2683,3

### SISTEMA DE SEGURIDAD

Sensor desvío de banda Touchswitch 24V DC, Atex-20, ref. TS2V34AI.	4	360,27	1441,08
Sensor temperatura NTC, Atex-20, rosca BSPT 1/4", ref. WDB810V3AI.	4	119,35	477,4
Soporte sensor de rotación Whirligig de 2 pulsos, ref. WG2A-BR.	1	109,8	109,8
Conector magnético M12, ref. MAG2000M.	1	64,06	64,06
Sensor de pérdida de velocidad a 2 hilos, M30, Atex-20, ref. M3003V10AI.	1	181,1	181,1
Sensor de nivel Autoset Multi-Voltage, Atex-20, ref. ATS6VOA.	1	482,1	482,1
Watchdog Super Elite, 24V DC o 110/240V AC, Atex-22, ref. WDC4V46CAI.	1	1913,1	1913,1
Panel de venteo Eleguard con dimensiones de 300x500mm, presión de ruptura de 100mBAR y indicador de ruptura.	7	678,6	4750,2
Apaga-llamas Elequench para panel de venteo Eleguard de dimensiones 300x500mm, filtro 1.4301 y pintado al RAL 3020.	2	2275,7	4551,4
Chute magnet E0015853 de 250x224mm, imanes de neodimio con una potencia magnética de 4000Gauss sobre la superficie de contacto. Totalmente fabricado en acero inoxidable AISI-304.	1	5010	5010
Rueda libre modelo SF-145 para eje de diámetro 145mm	1	1575	1575

### SERVICIOS

Montaje al completo del elevador de cangilones	1	3729,8	3729,8
Puesta en marcha por ingeniero	1	1840	1840
		<b>Total:</b>	<b>36574,94</b>

### IVA no incluido

<b>Plazo de entrega:</b>	20-25 días laborables más transporte
<b>Transporte:</b>	Material puesto en Masanés Lleida
<b>Validez oferta:</b>	30 días
<b>Forma de pago:</b>	A convenir
<b>Observaciones:</b>	Material de fabricación especial, no se aceptan devoluciones.

## 7 Pliego de condiciones

### 7.1 Normativa utilizada

Para la correcta realización del estudio de optimización un elevador de cangilones, todos los elementos empleados deben cumplir con las normativas de obligado cumplimiento mencionadas a continuación:

- UNE 157001: Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico. [35]
- DIN 22102-1:2014-01 juntamente con la ISO 251:2003: Cintas transportadoras con carcasa textil [14], [15]
- DIN 15237: Realización de tornillos para elevadores de cangilones.
- UNE-EN 10027-1:2017: Sistemas de designación de aceros. Parte 1: Designación simbólica. [10]
- UNE 58-222-87: Referente a los aparatos de manutención continua (grupo 3), más en concreto a los elevadores de cangilones. [1]
- EN 14491:2012: Sistemas de protección por ventero de explosiones de polvo. Esta norma indica el cálculo de los paneles de venteo. [20]
- UNE-EN 60079-10 y UNE-EN 60079-10-1:2016: Determina el nivel de seguridad para el material eléctrico instalado en ambientes explosivos de gas y vapores. [21]
- UNE-EN 1127-1:2012 y UNE-EN 61241-10:2005: Determina el nivel de seguridad para el material eléctrico instalado en ambientes explosivos de polvo. [19], [22]

Seguidamente se realizará un breve resumen de cada normativa y los puntos importantes a destacar:

#### **UNE 157001**

Esta norma tiene por objeto establecer los requisitos formales de carácter general con que deben redactarse los proyectos de productos, obras, edificios, instalaciones y servicios. El mayor o menor desarrollo de los aspectos formales indicados en esta norma depende del tipo de proyecto de que se trate y de su destino. Los aspectos específicos se recogen en las diferentes normas desarrolladas bajo el marco de esta norma, que serán de aplicación para determinados proyectos y podrán complementar los aspectos generales contenidos en la misma.

#### **DIN 22102-1:2014-01**

Juntamente con la ISO 251:2003 establecen el diseño y la manufacturación de las bandas transportadoras con una o más capas de tejido textil. Se debe destacar la normalización de los anchos, cargas de rotura y denominación de las bandas.



### **DIN 15237**

Regulación de las métricas, tipos de cabeza y arandelas para los tornillos utilizados en los elevadores de cangilones. Especial hincapié en las métricas y tipos de arandela, para poder garantizar el correcto acoplamiento entre el cangilón y la banda elevadora.

### **UNE-EN 10027-1:2017**

Esta norma europea establece las reglas para la designación simbólica de los aceros mediante caracteres alfanuméricos que expresan la aplicación y las características principales, por ejemplo, mecánicas, físicas o químicas, como propósito la identificación de forma abreviada los aceros

### **UNE 58-222-87**

Clasificación de los diferentes tipos de elevadores de cangilones en tres grupos, en función de la construcción y trayectoria, tipo de carga y tipo de descarga,

### **EN 14491:2012**

Calculo y diseño de sistemas de protección por venteo de explosiones de polvo. Especial importancia a la superficie de venteo necesaria y las características del material a elevar en el elevador de cangilones.

### **UNE-EN 60079-10 y UNE-EN 60079-10-1:2016**

Proporcionar las indicaciones necesarias sobre la aplicación de la Norma UNE-EN 60079-10 relativa a la clasificación de emplazamientos con peligro de explosión por presencia de gas y vapores. Especial importancia en los elementos electrónicos empleados.

### **UNE-EN 1127-1:2012 y UNE-EN 61241-10:2005**

Esta norma europea especifica métodos para la identificación y análisis de las situaciones peligrosas que conducen a una explosión y el diseño y construcción de las medidas apropiadas para la seguridad requerida.

La seguridad de los aparatos, sistemas de protección y componentes se puede alcanzar eliminando los peligros y/o reduciendo el riesgo.

## 7.2 Características y condiciones de uso de los componentes existentes en el elevador de cangilones

Todas las fichas técnicas con las características de los elementos utilizadas pueden encontrarse en el anexo 2 y 3.

### **Banda elevadora**

La banda elevadora debe cumplir con la normativa DIN 22102-1:2014-01 y ISO 251:2003, así como tener una carga de rotura normalizada.

También debe cumplir con las siguientes características: anti-llama, resistente a aceites y grasas vegetales, apta para uso en zonas ATEX.

### **Kit tornillería cangilones**

El kit deberá estar compuesto por un perno, una tuerca hexagonal y una arandela plana apta para cangilones de plástico, todo en acero inoxidable.

Su fabricaci3n debe ser seg3n la norma DIN 157237.

### **Grapa**

Este elemento debe estar construido en acero y ser capaz de soportar las tensiones máximas generadas por la banda elevadora expresadas en el apartado 4.

Deberá ser apta para la banda elevadora empleada sin importar el grosor de esta.

### **Cangilones**

Su material ha de ser polietileno de alta densidad (HDP), disponer del volumen indicado en el apartado 3, apto para ser unido con el kit de tornillería mencionado anteriormente, valido para descargas centrifugas, resistente al contacto con aceites y grasas vegetales y apto para su uso en zonas ATEX.

### **Elementos tambor motriz**

Las modificaciones realizadas en el tambor motriz deberán permitir su adaptaci3n al nuevo diámetro de eje mencionado en el apartado 4, empleando piezas de acero al carbono ST-37, una sujeci3n tipo tollabrock y la correspondiente chaveta en funci3n de las dimensiones calculadas en el apartado 3.3.

### **Motor -reductor**

Este conjunto constará de dos elementos, un motor eléctrico y un reductor.

El motor eléctrico deberá disponer de la potencia y par establecidos en el apartado 4, una tensión de alimentación de 400 V AC en trifásico y una frecuencia de 50 Hz, una categoría de eficiencia IE3, cumplir con la certificación ATEX para una zona 21, disponer de una eficiencia mínima del 80% independientemente del porcentaje de carga, no superar los 80 dB y disponer de una brida B-5.

El reductor deberá cumplir con todos los requerimientos establecidos en el apartado 3.3, disponer de una brida B-5, un coeficiente de seguridad mayor a 2,75, tener una reducción de 25 y un montaje mediante patas.

### **Sensor desvío de banda**

Este elemento de seguridad debe cumplir con la certificación ATEX para zona 20, estar alimentado a una tensión comprendida entre 12-24 V CC, disponer de una categoría de IP66, función de test externo, la cara del sensor estar construida con acero inoxidable endurecido y el cuerpo en acero prensado sin soldadura y pintado con pintura epoxi.

### **Sensor temperatura**

El sensor de temperatura deberá disponer de un engrasador en su cuerpo para poder continuar con las labores de mantenimiento, una rosca BSPT de 1/4", poderse conectar a un controlador lógico programable, estar manufacturada con un termistor NTC, disponer de la certificación ATEX para zona 20 y alimentarse con una tensión entre 5-24 V CC.

### **Soporte sensor velocidad**

Este soporte, deberá proteger el sensor albergado en su interior, ser compatible para sensores de estilo DIN con diámetros de 30mm o 18mm, disponer de dos objetivos, disponer de una rosca M12x1.75 acoplable a un conector magnético y ser apto hasta una velocidad máxima de  $1500 \text{ min}^{-1}$ .

### **Conector magnético**

La unión al soporte del sensor de velocidad será mediante una rosca M12x1.75, soportar una velocidad máxima de  $300 \text{ min}^{-1}$ , estar fabricado con un cuerpo en acero inoxidable y un imán en neodimio para permitir su sujeción a cualquier tipo de eje ferromagnético.

### **Sensor de pérdida de velocidad**

Este sensor deberá tener un cuerpo roscado con métrica ISO M30x1,5 o M18x1,5 para poder encajar en el soporte del sensor de velocidad, ser alimentado con una tensión de 24 V CC, disponer de una protección IP66, cumplir con la certificación ATEX para zonas 20 y dar una señal de alarma si la velocidad baja del 20% de la velocidad nominal establecida.

### **Sensor de nivel**

El material de fabricación deberá ser acero inoxidable, cumplir con la certificación ATEX para zonas 20, protección IP65, alimentación de 24 V DC y poder detectar materiales granulados y polvorientos.

### **Unidad de control**

Esta unidad de control deberá poder monitorizar un sensor de velocidad, 4 sensores de desvío de banda, 4 sensores de temperatura, un sensor de nivel, diferentes sensores de rotura de panel de venteo, estar conectado mediante internet a un servidor remoto, estar alimentado a 24 V CA y 50 Hz y estar certificado para una zona ATEX 21.

### **Panel de venteo**

Este elemento de seguridad deberá cumplir con la normativa EN 14491:2012, disponer de una eficacia de venteo mayor al 80%, incluir sensor de ruptura, no fragmentarse en caso de producirse una explosión y estar certificado para zonas ATEX.

### **Apaga-llamas**

Igual que el panel de venteo, este elemento de seguridad deberá cumplir con la normativa EN 14491:2012, disponer de una protección frente inclemencias meteorológicas y disponer de la certificación para zonas ATEX.

### **Seguridad magnética**

Debido al contacto entre el producto a elevar y el equipo, el material de fabricación deberá ser acero inoxidable AISI-304, tener un acabado superficial S1 a 3µm para evitar la adherencia del producto a elevar al equipo, disponer de imanes de neodimio con una potencia magnética al contacto de 5000 gauss y una temperatura máxima de operación de 50°C.

### **Rueda libre**

Este elemento deberá tener el mismo diámetro que el eje del tambor motriz utilizado, indicado en el apartado 4.4, soportar el par indicado en el apartado 4.4, disponer de un aro interior de bronce, poder mover la cinta elevadora en sentido contrario al de rotación en caso de mantenimiento y disponer de una tolerancia H6 o J6.

## 8 Referencias

- [1] UNE 58-222-87: *aparatos de manutención continua : elevadores de cangilones : clasificación*. AENOR, 1987.
- [2] J. Fuentes Losa, *Ingeniería del transporte*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2012.
- [3] V. Díaz López, *Transportes*. Madrid: UNED, 2006.
- [4] «Cálculo y Diseño de Cintas Transportadoras». <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn84.html> (accedido abr. 21, 2020).
- [5] J. Castany Valeri, A. Fernández Cuello, y F. Serraller Sánchez, *Análisis de la funcionalidad de los elementos de máquinas*. Zaragoza: Pressas Universitarias de Zaragoza, 2008.
- [6] «bucket elevator drums for head and tail pulleys | 4B». <https://www.go4b.co.uk/products/bucket-elevator-components/elevator-drums/bucket-elevator-drums/241> (accedido jun. 11, 2020).
- [7] R. GmbH, «Ruedas libres completas FA – Rueda libre». <https://www.ringspann.es/es/productos/ruedas-libres/ruedas-libres-completas/con-palanca/ruedas-libres-completas-fa> (accedido abr. 25, 2020).
- [8] B. B. Group, «Cangilones Elevadores 4B», p. 32.
- [9] B. B. Group, «Pernos Elevadores 4B», p. 8.
- [10] «UNE-EN 10027-1:2017 Sistemas de designación de aceros. Parte 1...» <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0057838> (accedido may 10, 2020).
- [11] «ABB - LV Motors - Optimizer». <http://www145.abb.com/> (accedido abr. 21, 2020).
- [12] [www.existo.es](http://www.existo.es), «CKM Reductores de Velocidad Cónicos Ortogonales», *Cidepa - Sincron*. <https://www.cidepa-sincron.com/es/26/ckm-reductores-de-velocidad-conicos-ortogonales> (accedido may 16, 2020).
- [13] [www.existo.es](http://www.existo.es), «Motores reductores de velocidad eléctricos con las mayores prestaciones», *Cidepa - Sincron*. <https://www.cidepa-sincron.com/es/motores-reductores-velocidad-electricos> (accedido jun. 11, 2020).
- [14] «DIN 22102-1:2014-01, Textil-Fördergurte für Schüttgüter\_ Teil\_1: Maße, Anforderungen, Kennzeichnung», Beuth Verlag GmbH. doi: 10.31030/2065165.
- [15] «ISO 251:2003 Conveyor belts with textile carcass -- Widths and...» <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/iso/?c=027295> (accedido abr. 21, 2020).
- [16] «REFORT BELT :: BANDAS TRANSPORTADORAS». <http://www.refortbelt.com/> (accedido abr. 21, 2020).
- [17] «Sistemas de empalme sin fin». <https://www.flexco.com/NA/ES/Flexco/Products/Endless-Splicing-Systems.htm> (accedido may 15, 2020).
- [18] «Sistemas de empalmes mecánicos para banda». <https://www.flexco.com/NA/ES/Flexco/Products/Mechanical-Belt-Fastening-Systems.htm> (accedido may 15, 2020).
- [19] «UNE-EN 1127-1:2012 Atmósferas explosivas. Prevención y protecc...» <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0049930> (accedido abr. 21, 2020).
- [20] «UNE-EN 14491:2012 (Ratificada) Sistemas de protección por vent...» <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0049751> (accedido abr. 21, 2020).

- [21] «UNE-EN 60079-10-1:2016 Atmósferas explosivas. Parte 10-1: Clas...»  
<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0057263>  
(accedido abr. 21, 2020).
- [22] «UNE-EN 61241-10:2005 Material eléctrico para uso en presencia ...»  
<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0032714>  
(accedido abr. 21, 2020).
- [23] «Alignment Sensors & Switches for Bucket Elevators & Belt Conveyors».  
<https://go4b.co.uk/products/electronic-monitoring-equipment/alignment-sensors?language=fr> (accedido abr. 21, 2020).
- [24] «Bearing Temperature Sensors | Atex | CSA | IECEx | Monitoring».  
<https://go4b.co.uk/products/electronic-monitoring-equipment/bearing-temperature-sensors?language=fr> (accedido abr. 21, 2020).
- [25] «Control de temperatura | Reguladores y controladores».  
<https://es.omega.com/prodinfo/controladores-de-temperatura.html> (accedido abr. 21, 2020).
- [26] «¿Qué es una Pt100 y cómo funciona? | Termorresistencia pt100».  
<https://es.omega.com/prodinfo/pt100.html#> (accedido abr. 21, 2020).
- [27] «Monitores de velocidad | interruptores de velocidad y encóders | 4B».  
<https://www.go4b.co.uk/es/productos/componentes-de-seguridad-y-control/monitores-de-velocidad> (accedido jun. 11, 2020).
- [28] «Inductive Sensors | Proximity Sensor | Certified | Elevators & Conveyors».  
<https://go4b.co.uk/products/electronic-monitoring-equipment/inductive-sensors?language=fr> (accedido abr. 21, 2020).
- [29] «Level Indicators | Detection | Bulk Granular Materials in Bins, Tanks & Silos».  
<https://go4b.co.uk/products/electronic-monitoring-equipment/level-indicators?language=fr> (accedido abr. 21, 2020).
- [30] «Controladores de Membrana». <http://www.filsa.es/productos/control-de-solidos/controladores-de-membrana/> (accedido abr. 13, 2020).
- [31] «Monitores de peligros | para elevadores y transportadores | 4B».  
<https://www.go4b.co.uk/es/productos/monitores-de-peligros> (accedido abr. 26, 2020).
- [32] «Eleguard Explosion Vent for Bucket Elevators», *Fike*.  
<https://www.fike.com/products/eleguard-explosion-vent/> (accedido abr. 26, 2020).
- [33] «EleQuench Flameless Explosion Venting for Grain Elevators», *Fike*.  
<https://www.fike.com/products/elequench-flameless-explosion-venting-grain-elevators/>  
(accedido abr. 26, 2020).
- [34] «Chute magnets (free-fall or chute applications) | Goudsmit».  
<https://www.goudsmitmagnets.com/industrial-magnetic-systems/magnetic-filtering/chute-magnets/chute-magnets> (accedido abr. 13, 2020).
- [35] «UNE 157001:2014 Criterios generales para la elaboración formal...»  
<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0052985>  
(accedido may 16, 2020).
- [36] I. J. C. M. R, «APUNTES DE INGENIERIA MECANICA: RESISTENCIA DEL FLUIDO», *APUNTES DE INGENIERIA MECANICA*, nov. 20, 2015.  
<https://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com/2015/11/resistencia-del-fluido.html>  
(accedido abr. 22, 2020).
- [37] «Drag Coefficient». [https://www.engineeringtoolbox.com/drag-coefficient-d\\_627.html](https://www.engineeringtoolbox.com/drag-coefficient-d_627.html) (accedido abr. 21, 2020).
- [38] OpenStaxCollege, «Drag Forces», en *College Physics*, 2012.
- [39] «Fuerza de rozamiento. Coeficiente de arrastre».  
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/fluidos/reynolds/reynolds.html> (accedido abr. 22,

2020).

[40] F. P. Beer, E. R. Johnston, y P. J. Cornwell, *Mecánica vectorial para ingenieros*. Madrid: MacGraw-Hill Interamericana, 2010.

[41] «CiDdMaq-07-Arbres trans.pdf». Accedido: jun. 12, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://cv.udl.cat/access/content/group/102304-1617/CiDdMaq-07-Arbres%20trans.pdf>.

[42] «CiDdMaq-03-Fatiga.pdf». Accedido: jun. 12, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://cv.udl.cat/access/content/group/102304-1617/CiDdMaq-03-Fatiga.pdf>.

[43] «Mecapedia-Cálculo resistente de chavetas». [http://www.mecapedia.uji.es/calculo\\_resistente\\_de\\_chavetas.htm](http://www.mecapedia.uji.es/calculo_resistente_de_chavetas.htm) (accedido jun. 08, 2020).

[44] «UNE 202007:2006 IN Guía de aplicaci3n de la Norma UNE-EN 60079...» <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0036701> (accedido abr. 21, 2020).

## 9 Anexos



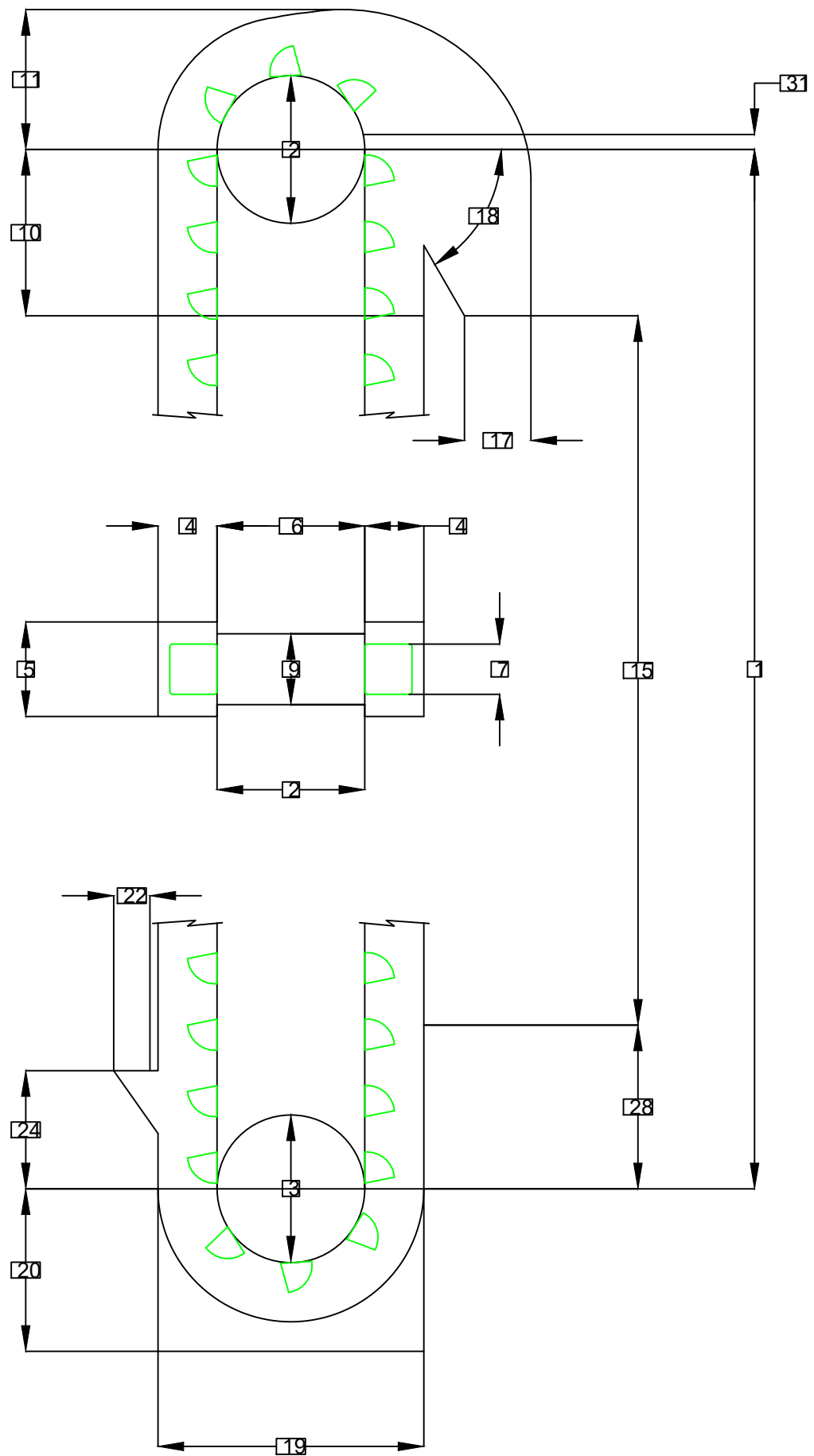
## 9.1 Anexo 1 – Planos

# ANEXO 1



## PLANOS

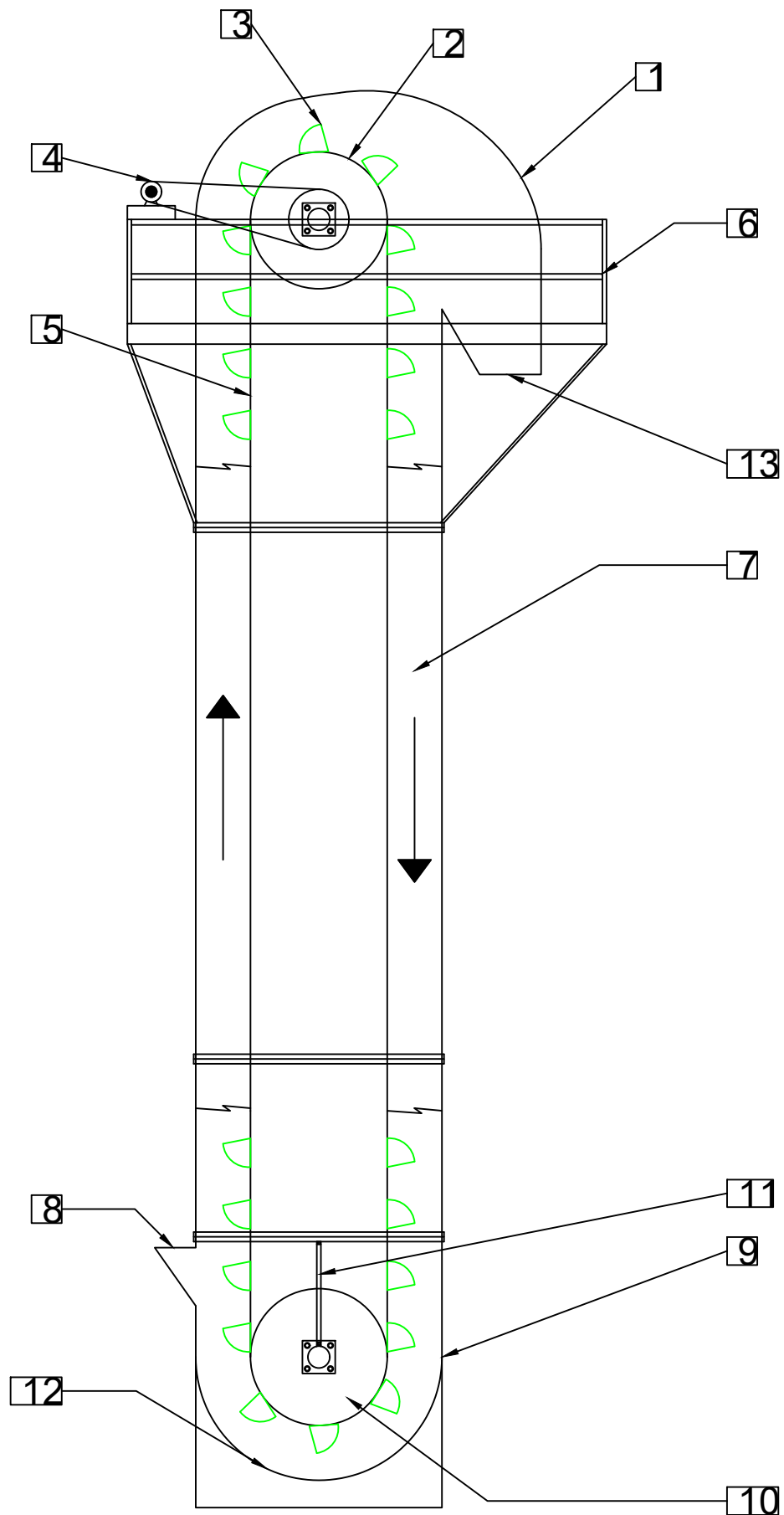
- 1- Dimensiones elevador a estudiar
- 2- Componentes elevador a estudiar
- 3- Dimensiones tambor motriz
- 4- Dimensiones eje tambor motriz
- 5- Chute magnet E0015853
- 6- Reductor CKM 97 7,5-10 con patas
- 7- Diagrama del sólido libre – Fuerzas sobre banda elevadora
- 8- Diagrama del sólido libre – Tensiones en banda elevadora
- 9- Cargas distribuidas sobre tambor motriz
- 10- Cargas distribuidas sobre eje tambor motriz



ESCOLA  
POLITÀCNICA SUPERIOR  
UNIVERSITAT DE LLEIDA

## DIMENSIONES ELEVADOR A ESTUDIAR

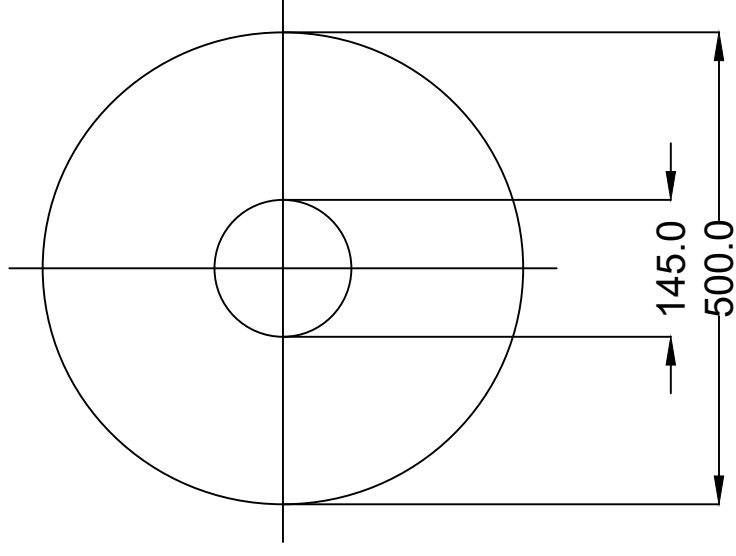
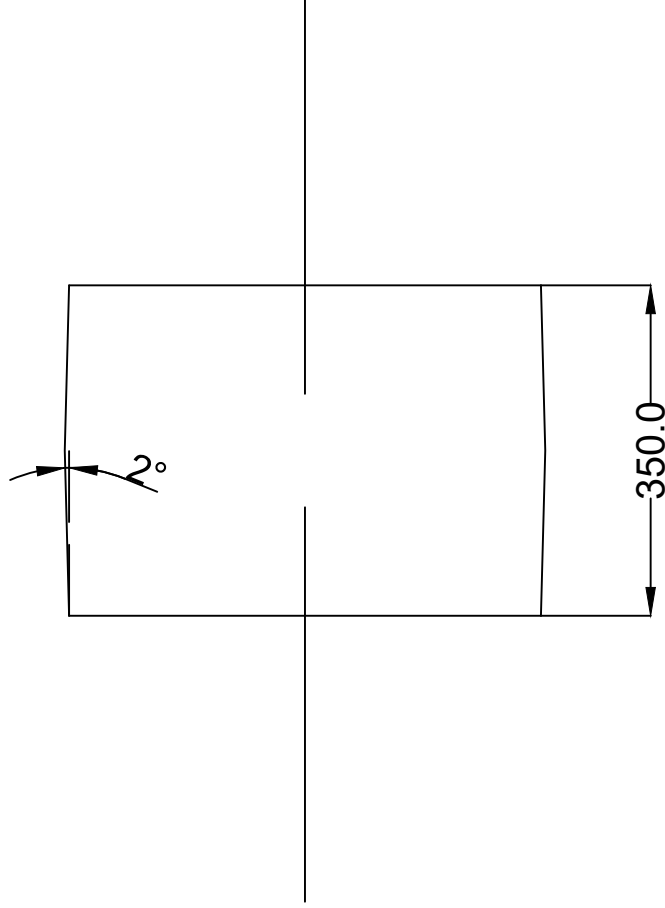
ESCALA			CODIGO			DISEÑO:		REV.
ESCALA	ESCALAS SECUNDARIAS	FORMATO PLANO		FECHA	FIRMA	Nº PLANO:1		
Este plano no puede ser reproducido ni comunicado a terceros sin nuestra autorización por escrito			DIBUJADO			HOJA de		
			REVISADO			VERSION		
			COPIADO				OT	



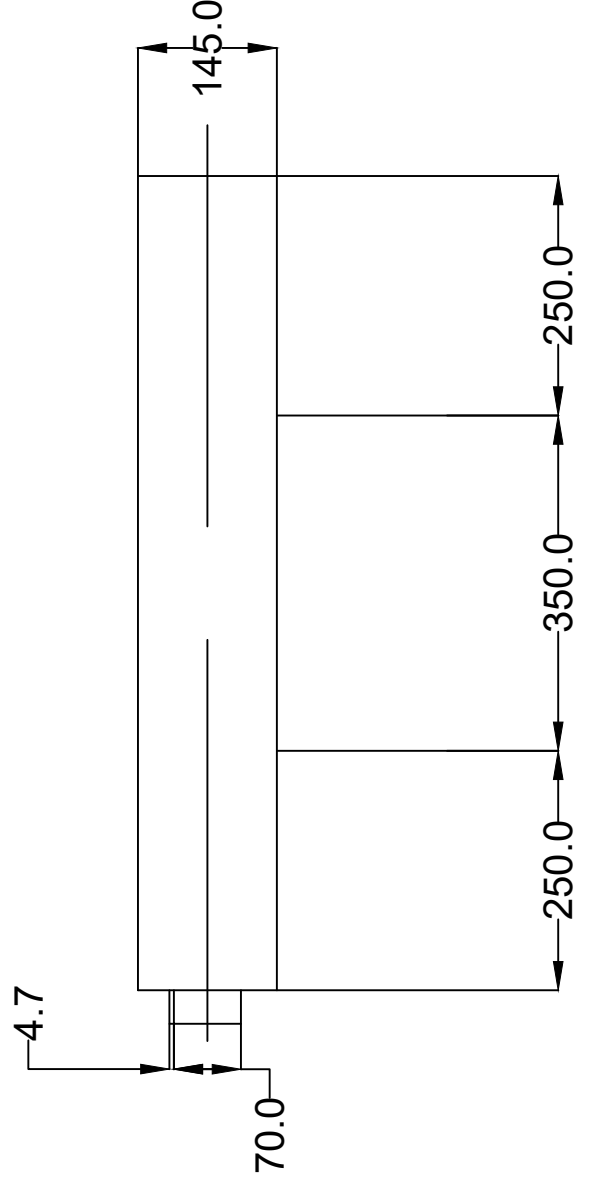
ESCOLA  
POLITÀCNICA SUPERIOR  
UNIVERSITAT DE LLEIDA

## COMPONENTES ELEVADOR A ESTUDIAR

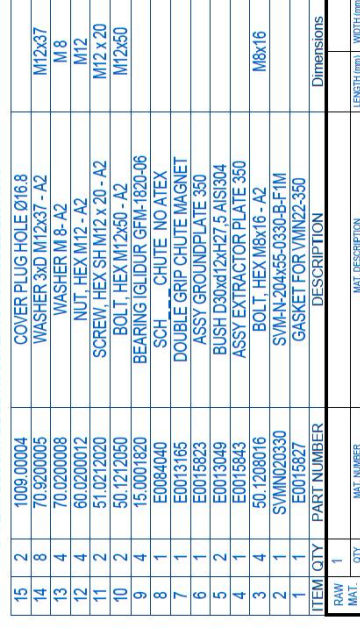
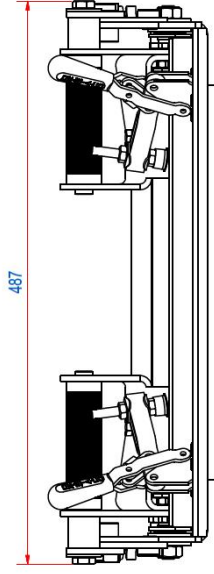
ESCALA			CODIGO			DISEÑO:		REV.
ESCALA	ESCALAS SECUNDARIAS	FORMATO PLANO	DIBUJADO	FECHA	FIRMA	Nº PLANO: 2		
Este plano no puede ser reproducido ni comunicado a terceros sin nuestra autorización por escrito			REVISADO			HOJA de		
			COPIADO			VERSION		
						OT		



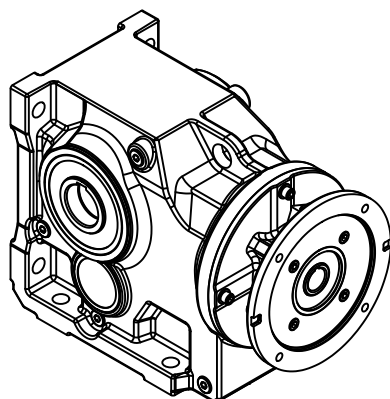
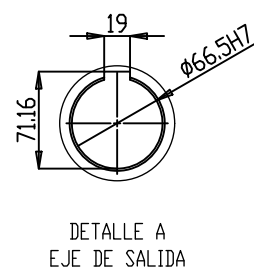
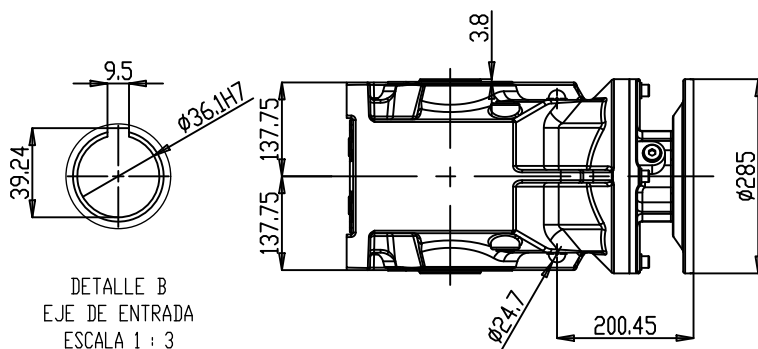
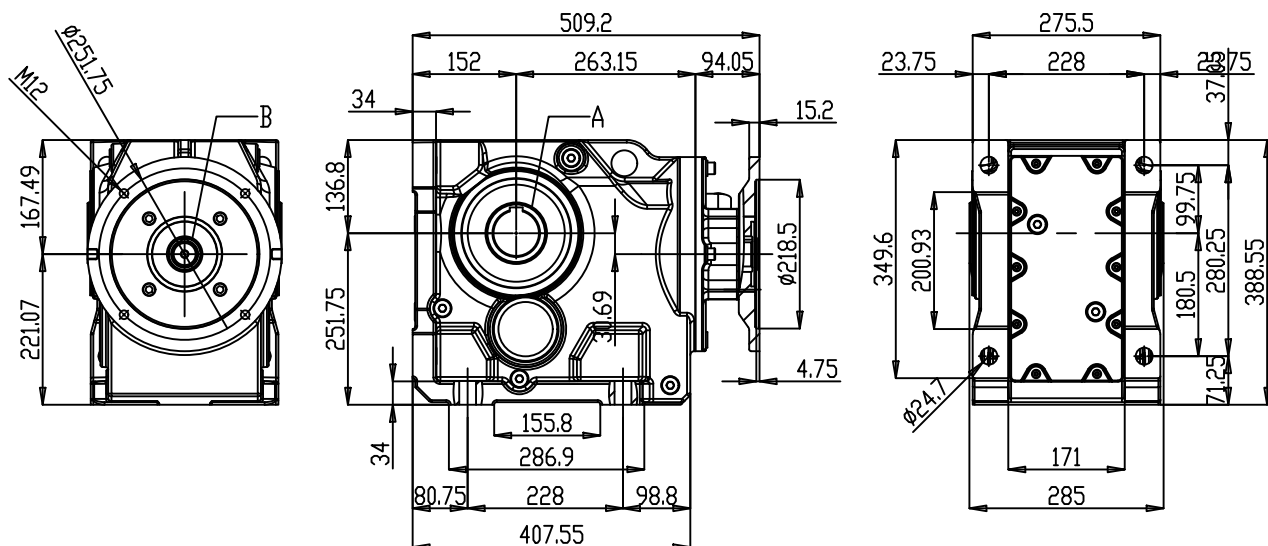
ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR UNIVERSITAT DE LLEIDA				DIMENSIONES TAMBOR MOTRIZ			
ESCALA	ESCALAS SECUNDARIAS	FORMATO PLANO	CODIGO				REV.
Este plano no puede ser reproducido ni comunicado a terceros sin nuestra autorización por escrito			DIBUJADO	FECHA	FIRMA	DISEÑO:	
			REVISADO			Nº PLANO: 3	
			COPIADO			HOJA de	OT



ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR UNIVERSITAT DE LLEIDA				DIMENSIONES EJE TAMBOR MOTRIZ			
ESCALA	ESCALAS SECUNDARIAS	FORMATO PLANO	CODIGO		DISEÑO:		
Este plano no puede ser reproducido ni comunicado a terceros sin nuestra autorización por escrito			DIBUJADO	FECHA	FIRMA	Nº PLANO: 3	REV.
			REVISADO			HOJA de	
			COPIADO			VERSION	OT



UNIVERSITAT DE LLEIDA		CODIGO		DISEÑO:		REV.
ESCALA	ESCALAS SECUNDARIAS	FORMATO PLANO	FECHA	FIRMA	Nº PLANO: 4	
Este plano no puede ser reproducido ni comunicado a terceros sin nuestra autorización por escrito			DIBUJADO		HOJA de	
			REVISADO		VERSION	OT
			COPIADO			



CKM 97 7,5-10 PATAS

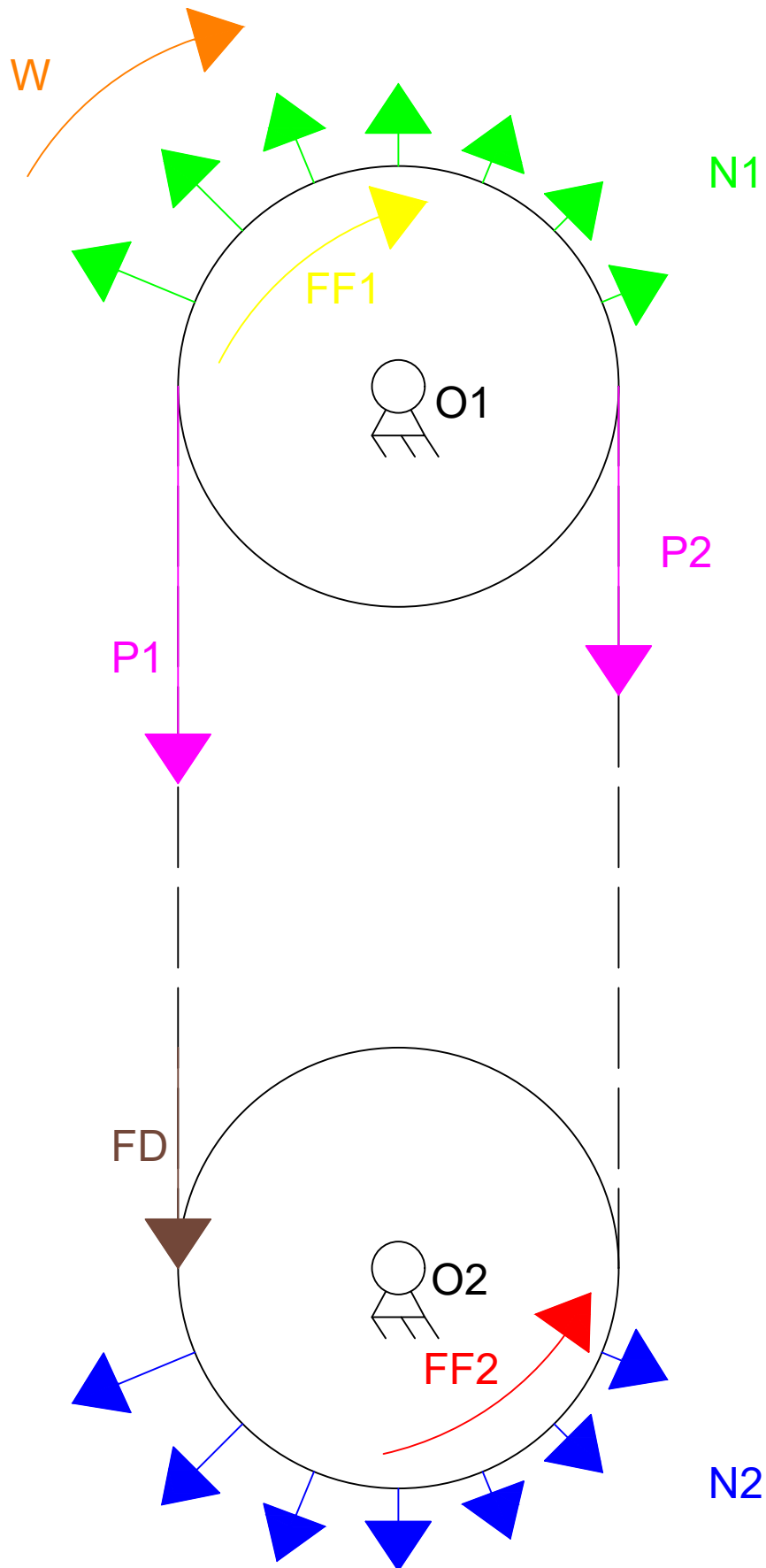


ESCOLA  
POLITÈCNICA SUPERIOR  
UNIVERSITAT DE LLEIDA

## REDUCTOR CKM 97 7,5-10 CON PATAS

ESCALA			CODIGO			DISEÑO:		REV.
ESCALA	ESCALAS SECUNDARIAS	FORMATO PLANO		FECHA	FIRMA	Nº PLANO: 5		
Este plano no puede ser reproducido ni comunicado a terceros sin nuestra autorización por escrito			DIBUJADO			HOJA de		
			REVISADO			VERSION		
			COPIADO				OT	





ESCOLA  
POLITÀCNICA SUPERIOR  
UNIVERSITAT DE LLEIDA

# DIAGRAMA SÓLIDO LIBRE - FUERZAS SOBRE BANDA ELEVADORA

CODIGO

FECHA

FIRMA

DISEÑO:

REV.

ESCALA

ESCALAS SECUNDARIAS

FORMATO PLANO

DIBUJADO

REVISADO

COPIADO

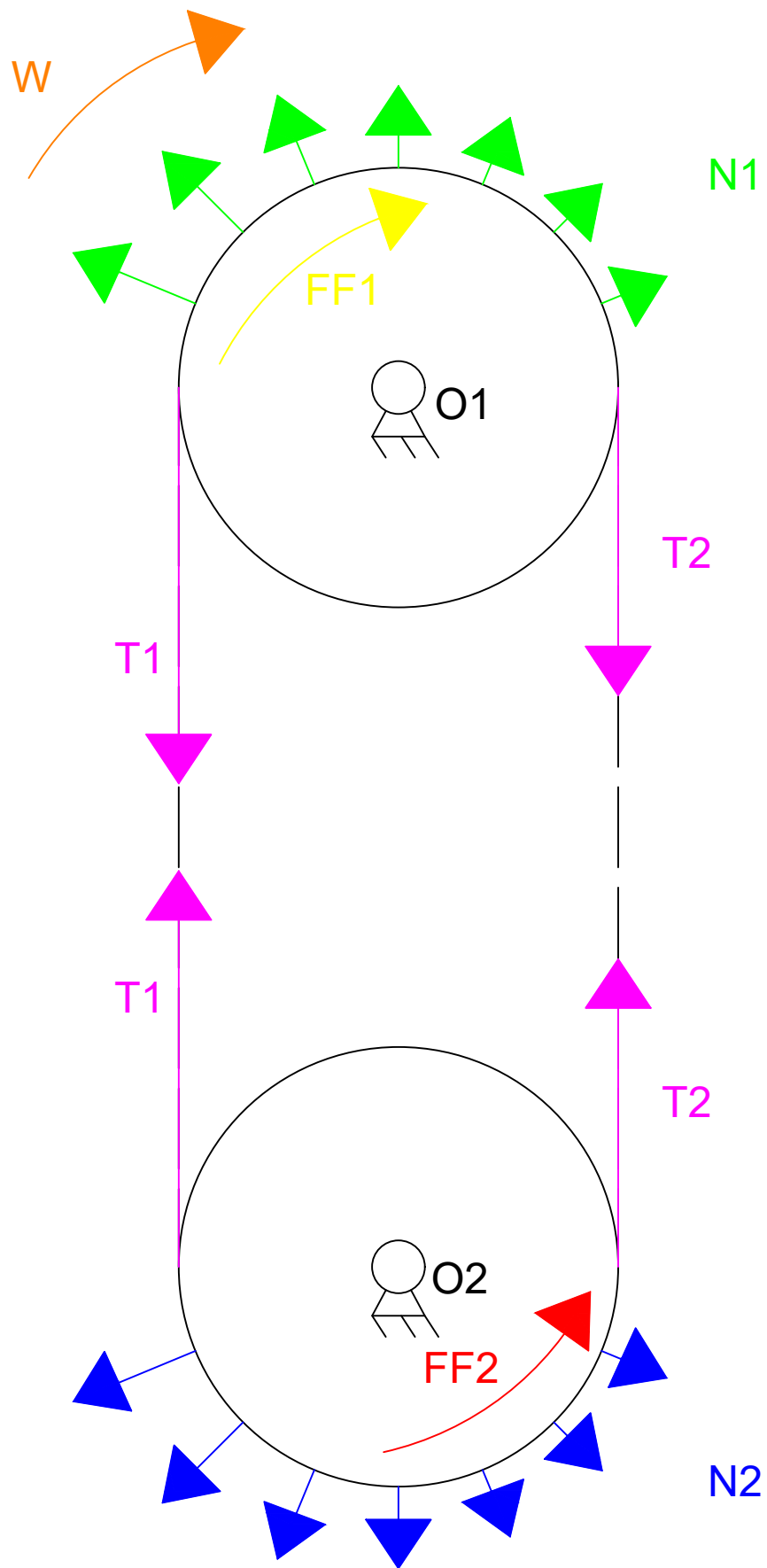
Nº PLANO:

HOJA de

VERSION

OT

Este plano no puede ser reproducido ni comunicado a terceros sin nuestra autorización por escrito

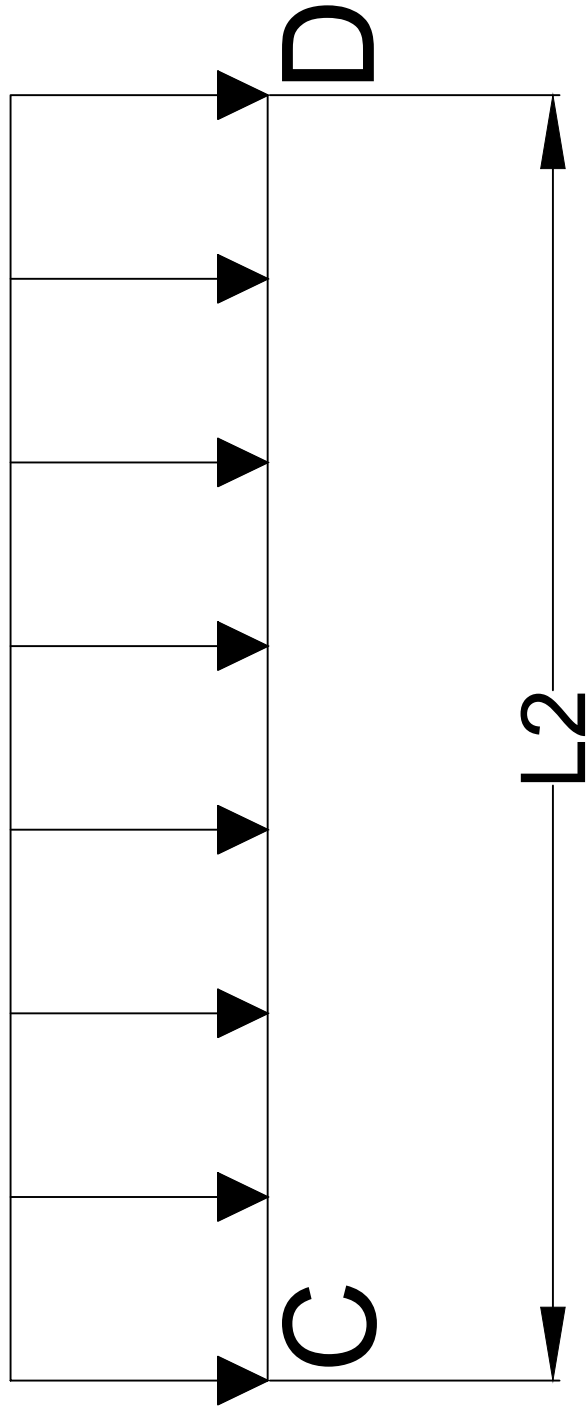



ESCOLA  
POLITÀCNICA SUPERIOR  
UNIVERSITAT DE LLEIDA

## DIAGRAMA SÓLIDO LIBRE - TENSIONES EN BANDA ELEVADORA

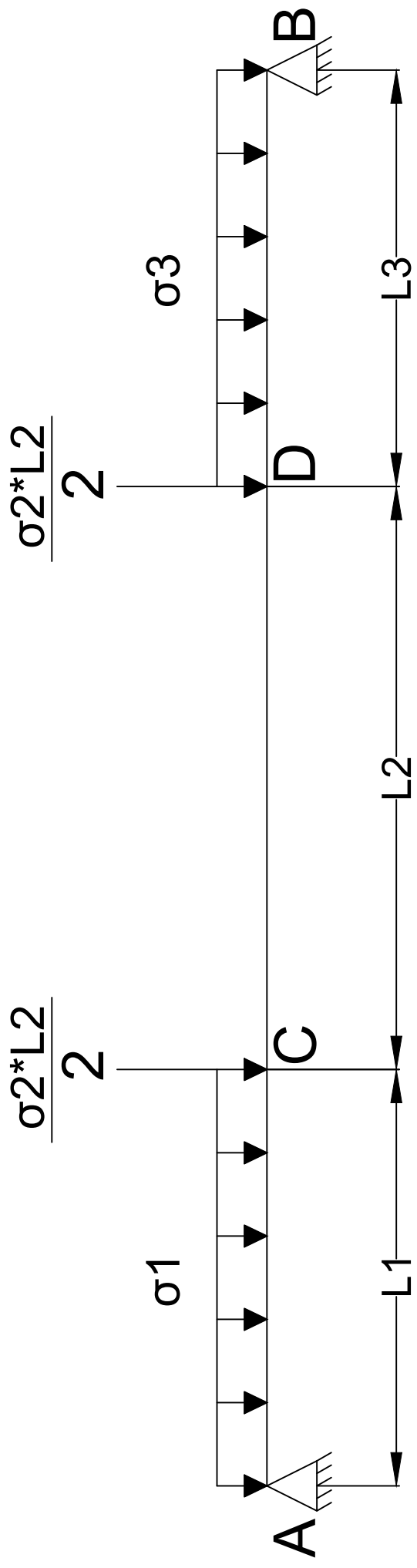
CODIGO			DISEÑO:		REV.
ESCALA	ESCALAS SECUNDARIAS	FORMATO PLANO	FECHA	FIRMA	Nº PLANO: 7
Este plano no puede ser reproducido ni comunicado a terceros sin nuestra autorización por escrito			DIBUJADO		HOJA de
			REVISADO		VERSION
			COPIADO		OT


$\sigma_2$



 ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR UNIVERSITAT DE LLEIDA		CARGAS DISTRIBUIDAS SOBRE TAMBOR MOTRIZ				
ESCALA	ESCALAS SECUNDARIAS	FORMATO PLANO	CODIGO		DISEÑO:	REV.
			DIBUJADO	FECHA	FIRMA	Nº PLANO: 8
			REVISADO			HOJA de
			COPIADO			VERSION
						OT

Este plano no puede ser reproducido ni comunicado a terceros sin nuestra autorización por escrito



<div></div> <div>ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR UNIVERSITAT DE LLEIDA</div>			CARGAS DISTRIBUIDAS SOBRE EJE TAMBOR MOTRIZ						
			CODIGO			DISEÑO:		REV.	
ESCALA	ESCALAS SECUNDARIAS	FORMATO PLANO		FECHA	FIRMA	Nº PLANO: 8			
Este plano no puede ser reproducido ni comunicado a terceros sin nuestra autorización por escrito			DIBUJADO			HOJA de			
			REVISADO			VERSION		OT	
			COPIADO						

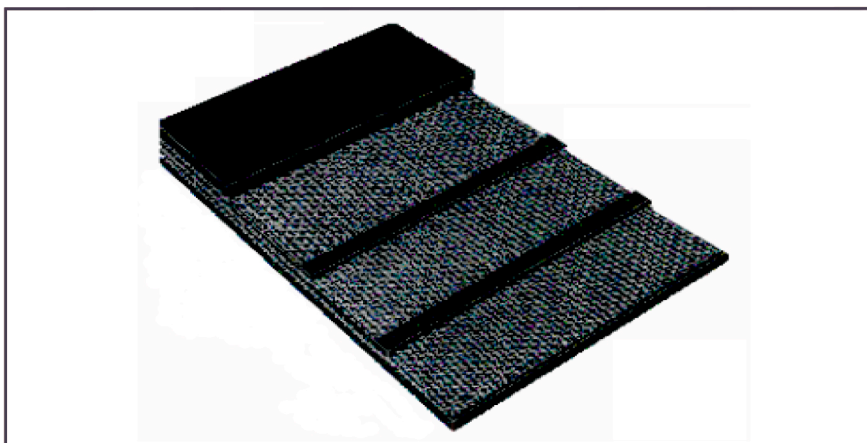
## 9.2 Anexo 2 – Elementos motrices

# ANEXO 2



## ELEMENTOS MOTRICES

- 1- Refort belt – Banda elevadora EP 630/3 1,5+1,5 KG
- 2- Refort belt – Banda elevadora EP 800/4 2+2 KG
- 3- Grapa Supergrip nº3
- 4- Kit tornillería autoblock M10x50mm
- 5- Cangilones SPS Super Starco
- 6- Tambor motriz
- 7- Chaveta DIN-6885/1
- 8- Motor reductor CRM-87.2 1/30 4
- 9- Motor reductor CKMS-97.3 1/25 7,5

**Bandas elevadoras REFORT KG**
**REFORT EP630/3 1,5+1,5 KG**

**Aplicaciones:**

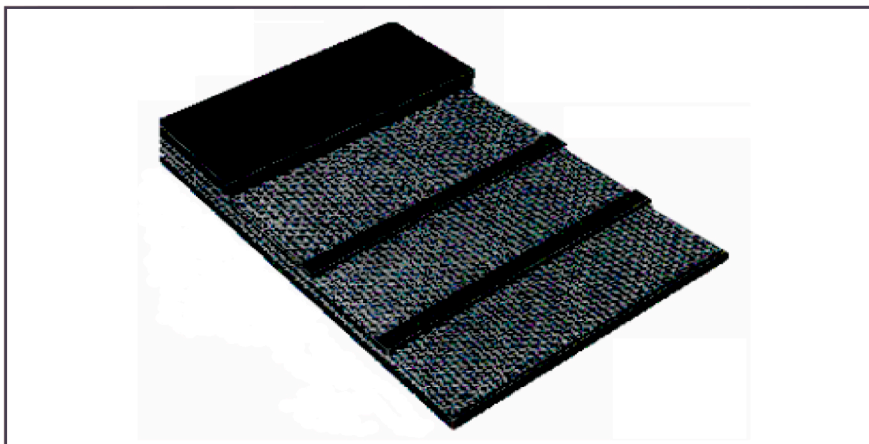
Banda elevadora antillama, moderadamente resistente a aceites y grasas. Apta para su uso en silos de grano o para transportar materiales impregnados en aceite vegetal en áreas con peligro de incendio.

Cumple normativa ATEX.

**Ficha técnica**

<b>Norma</b>	DIN 22102 K - DIN 22102 G - ISO 433 K
<b>Calidad goma</b>	CR / SBR / BR, antillama, antigrasa, antiestática
<b>Tejido</b>	Poliéster / Poliamida
<b>Carga de rotura</b>	630 N/mm
<b>Espesor banda</b>	6,66 mm +/- 1 mm
<b>Peso de la banda</b>	8,66 kg/m2 (aproximado)
<b>Laterales</b>	Cantos cortados e impregnados de caucho.
<b>Nº de telas</b>	3
<b>Cobertura superior</b>	1,5 mm
<b>Cobertura inferior</b>	1,5 mm
<b>Dureza</b>	63+/-5 Sh.
<b>Abrasión</b>	200 mm3
<b>Tensión de rotura</b>	15 N/mm2
<b>Alargamiento rotura</b>	350% min.
<b>Temperatura</b>	-15 a +80°C
<b>Diam. mínimo polea</b>	Con tensión al 100% diam. motriz 500 mm recomendado
<b>Anchos standard</b>	Múltiplos de 50 mm hasta 1.000 mm de ancho.
<b>Anchos especiales</b>	Se pueden fabricar bobinas enteras hasta 1.800 mm de ancho
<b>Longitud</b>	Standard de 100 mts. Bajo pedido se pueden fabricar metrajes superiores
<b>Normas de calidad</b>	ISO 9001, ISO 14001 Verificación anual por DET NORSKE VERITAS



**Bandas elevadoras REFORT KG**
**REFORT EP800/4 2+2 KG**

**Aplicaciones:**

Banda elevadora antillama, moderadamente resistente a aceites y grasas. Apta para su uso en silos de grano o para transportar materiales impregnados en aceite vegetal en áreas con peligro de incendio.

Cumple normativa ATEX.

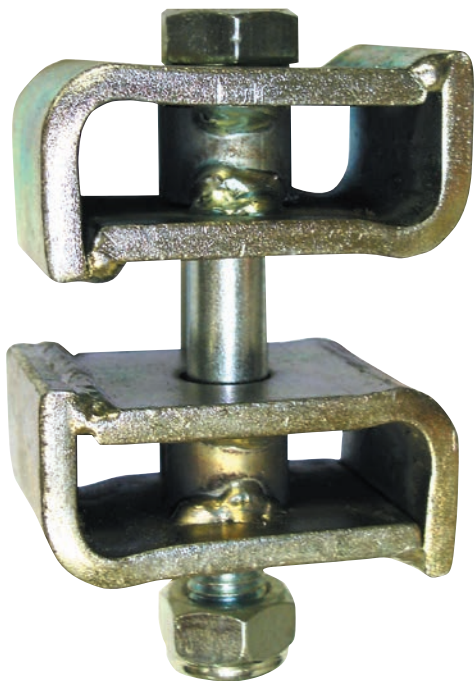
**Ficha técnica**

<b>Norma</b>	DIN 22102 K - DIN 22102 G - ISO 433 K
<b>Calidad goma</b>	CR / SBR / BR, antillama, antigrasa, antiestática
<b>Tejido</b>	Poliéster / Poliamida
<b>Carga de rotura</b>	800 N/mm
<b>Espesor banda</b>	8,88 mm +/- 1 mm
<b>Peso de la banda</b>	11,54 kg/m <sup>2</sup> (aproximado)
<b>Laterales</b>	Cantos cortados e impregnados de caucho.
<b>Nº de telas</b>	4
<b>Cobertura superior</b>	2 mm
<b>Cobertura inferior</b>	2 mm
<b>Dureza</b>	63+/-5 Sh.
<b>Abrasión</b>	200 mm <sup>3</sup>
<b>Tensión de rotura</b>	15 N/mm <sup>2</sup>
<b>Alargamiento rotura</b>	350% min.
<b>Temperatura</b>	-15 a +80°C
<b>Diam. mínimo polea</b>	Con tensión al 100% diam. motriz 630 mm recomendado
<b>Anchos standard</b>	Múltiplos de 50 mm hasta 1.000 mm de ancho.
<b>Anchos especiales</b>	Se pueden fabricar bobinas enteras hasta 1.800 mm de ancho
<b>Longitud</b>	Standard de 100 mts. Bajo pedido se pueden fabricar metrajes superiores
<b>Normas de calidad</b>	ISO 9001, ISO 14001 Verificación anual por DET NORSKE VERITAS





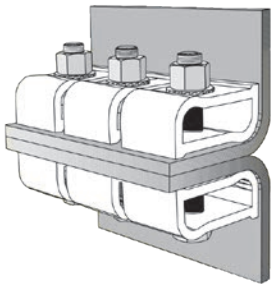
SISTEMA SUPERGRIP



La fijación para correa **Supergrip** asegura la correa en los elevadores de cangilones. Los dos extremos de la correa quedan atenzados entre placas de acero extrudido, sujetas entre sí mediante pernos de alta tracción chapados de cinc y tuercas de autobloqueo.

- > Fácil de instalar, sistema modular de segmentos de 50 mm
- > 4 versiones disponibles para correas de hasta 1250 kN/m sin límite de espesor
- > Cada conjunto se compone de 2 medias grapas, perno de gran resistencia a la tracción y tuerca de autobloqueo
- > Para tuercas de nylon estándar, temp. máx. 80° C, para temperaturas de más de 80° C hay que especificar tuercas Philidas
- > Disponible en acero inoxidable

Ejemplo de grapa con 3 mordazas tipo Supergrip en una correa de entre 150 y 195 mm de anchura. Proyección mínima de la correa de 25 mm para todos los tamaños.



	Supergrip N.º 1	Supergrip N.º 2	Supergrip N.º 3	Supergrip N.º 4
Resistencia de la correa	500 kN/m	630 kN/m	800 kN/m	1,000/1,250 kN/m
Peso (por unidad)	0,5 Kgs/m	0,8 Kgs/m	0,85 Kgs/m	1,83 Kgs/m
Tamaño perno	Perno M14	Perno M14	Perno M14	Perno M16

Disponibles grapas para correas hechas a medida para correas por encima de 1250Kn/m. Póngase en contacto con el departamento técnico de 4B.



## 4B EURO BOLT



### DISPONIBLE EN ACERO/ACERO INOXIDABLE

- > Fabricado según aprox. DIN15237
- > Clase ISO 5.8 (superior a DIN15237)
- > Cabeza de perno de gran diámetro
- > Con rosca completa
- > Disponible en versión zincada, color propio o inoxidable
- > Elección de empaquetados alternativos:
  - Perno, tuerca hexagonal y arandela cóncava empaquetados de 100
  - Solo perno, a granel en bolsas
- > El apretado del perno depende del tamaño cangilón y correa



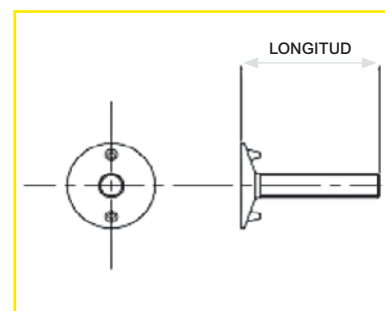
Para cangilones de acero con orificios embutidos, utilice: Perno, tuerca hexagonal y arandela cóncava grande.



Para cangilones de acero con orificios planos, utilice: Perno, tuerca hexagonal y arandela plana pequeña.



Para cangilón de plástico, utilice: Perno, tuerca hexagonal y arandela plana grande.



### Tornillo, tuerca hexagonal, arandela pequeña (cajas de 100) - Peso Kg/100 unidades

			LONGITUD DEL PERNO (medido totalmente)									
REF.	CABEZA Ø (mm)	PAR MÁXIMO DE APRIETE DEL TORNILLO (Nm)	20 (mm)	22 (mm)	25 (mm)	30 (mm)	35 (mm)	40 (mm)	45 (mm)	50 (mm)	60 (mm)	70 (mm)
M6 <sup>1)</sup>	21	8	1,28	-	1,38	1,50	-	-	-	-	-	-
M7	23	13	1,82	1,94	2,10	2,16	2,22	-	-	-	-	-
M8	28 / 25 <sup>2)</sup>	20	2,98	2,00	3,00	3,02	3,37	3,72	3,88	3,94	-	-
M10	35 / 31 <sup>2)</sup>	36	-	-	5,42	5,43	5,44	5,84	6,02	6,18	-	-
M12 <sup>1)</sup>	42	65	-	-	-	-	-	9,24	-	4,96*	5,36*	5,60*

1) No disponible en acero inoxidable / 2) Acero inoxidable / \* Peso Kg/50 unidades

### Solo perno (a granel) - peso Kg/paquete

LONGITUD DEL PERNO (medido totalmente)											
REF.	20 (mm)	22 (mm)	25 (mm)	30 (mm)	35 (mm)	40 (mm)	45 (mm)	50 (mm)	60 (mm)	70 (mm)	Cant.
M6 <sup>1)</sup>	19,4	-	20,8	21,4	-	-	-	-	-	-	2000
M7	20,1	21,3	22	24,2	17,5*	-	-	-	-	-	1500
M8	10,1	11,1	11,3	12,3	13	13,7	14,3	14,9	-	-	500
M10	-	-	18,8	20	21	22,3	23,7	12,6**	-	-	500
M12 <sup>1)</sup>	-	-	-	-	15,9	16,7	17,7	18,7	20,8	23,2	250

1) No disponible en acero inoxidable / \* En paquetes de 1000 unidades / \*\* En paquetes de 250 unidades

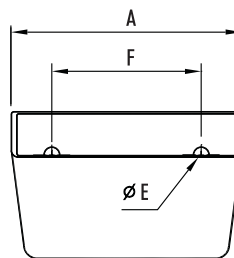
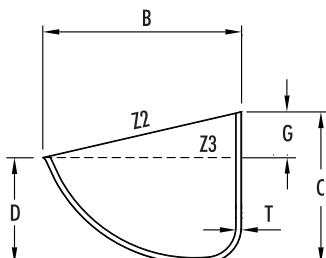
# TIPO SPS SUPER STARCO™

El **cangilón Super Starco™** es el resultado de una intensa investigación para alcanzar la máxima capacidad individual del cangilón, manteniendo al mismo tiempo las características perfectas de llenado y descarga del cangilón Starco original en un amplio rango de velocidades.

- Cangilón versátil, disponible en muchas medidas
- Volumen aumentado, con las mismas características de descarga que el cangilón Starco™
- Se requieren menos cangilones por metro
- Se requieren menos pernos y menos perforaciones
- Coste reducido para la instalación de la correa y el cangilón

## HDP (POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD) / NYLON / POLIURETANO

Agrícola e industrial



N.º	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	T (mm)	HDP (kg)	Nylon (kg)	PU (kg)	Capacidad (Litros)		N.º	Orificios			Opciones disponibles	Máx. Uni./m
									Z2 (total)	Z3 (agua)		E (Ø mm)	F (mm)	G (mm)		
SPS80-80	90	85	63	43	4	0,08	0,09	0,10	0,24	0,20	2	9,0	43	18	R	15,00
SPS100-90	110	100	67	44	5	0,11	0,13	0,15	0,39	0,32	2	9,0	50	20	R	14,00
SPS120-100	129	110	80	55	5	0,15	0,18	0,20	0,61	0,48	2	9,0	67	25	R	12,00
SPS130-120	135	120	85	57	5	0,19	0,23	0,25	0,72	0,54	2	9,0	70	25	R	11,00
SPS140-120	145	120	90	62	5	0,18	0,22	0,24	0,81	0,62	2	8,5	70	25	R	10,80
SPS130-130	146	130	90	60	5	0,21	0,25	0,28	0,88	0,68	2	9,0	70	25	R	10,80
SPS160-140	172	152	113	78	6	0,34	0,40	0,45	1,55	1,25	2	9,0	100	30	R	8,60
SPS180-140	187	150	112	77	6	0,30	0,36	0,40	1,79	1,42	2	9,0	100	30	R	8,60
SPS200-150	205	150	112	75	6	0,35	0,42	0,46	1,89	1,39	2	9,0	100	32	R	8,60
SPS300-150	305	152	115	80	7	0,65	0,77	0,86	2,92	2,28	4	9,0	51-102-51	32	N-R	8,50
SPS200-160	210	158	115	79	7	0,39	0,46	0,51	2,20	1,77	2	9,0	100	32	R	8,50
SPS230-170	240	175	138	93	7	0,61	0,73	0,81	3,09	2,42	2	11,0	120	36	R	7,00
SPS240-165	250	170	132	93	7	0,54	0,64	0,71	3,12	2,42	2	11,0	120	35	R	7,40
SPS280-165	293	170	132	95	7	0,67	0,79	0,88	3,75	3,06	3	11,0	80	36	N	7,40



N.º	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	T (mm)	HDP (kg)	Nylon (kg)	PU (kg)	Capacidad (Litros)		N.º	Orificios			Opciones disponibles	Máx. Uni./m
									Z2 (total)	Z3 (agua)		E (Ø mm)	F (mm)	G (mm)		
SPS280-170	282	175	138	97	7	0,67	0,80	0,88	3,77	2,96	3	11,0	80	37	R	7,00
SPS280-180	290	185	140	97	7	0,84	1,00	1,11	4,21	3,34	3	11,0	80	36	N	7,00
SPS300-180	316	185	140	97	8	0,85	1,01	1,12	4,69	3,79	3	11,0	100	36	N-F	7,00
SPS330-180	347	185	140	97	8	0,90	1,07	1,19	5,30	4,10	3	11,0	110	38	N-F	7,00
SPS350-180	367	186	140	97	9	1,12	1,33	1,48	5,35	4,27	3	11,0	120	38	N-F	7,00
SPS300-215	318	220	168	117	9	1,18	1,40	1,56	6,66	5,38	3	11,0	100	50	R	5,88
SPS330-215	343	220	168	117	9	1,30	1,55	1,72	7,20	5,86	3	11,0	120	50	N-R-F	5,88
SPS350-215	368	220	168	117	9	1,38	1,64	1,82	7,75	6,20	3	11,0	120	50	R	5,88
SPS370-215	390	220	168	117	9	1,45	1,72	1,91	8,45	6,48	4	11,0	90	50	N-R-F	5,88
SPS400-215	420	220	168	117	9	1,54	1,83	2,03	9,10	7,29	4	11,0	100	50	R	5,88
SPS450-215	470	220	165	115	9	1,56	1,86	2,06	9,95	7,80	5	11,0	90	50	N-R	5,88
SPS500-215	525	220	168	117	9	1,84	2,19	2,43	11,60	9,00	5	11,0	100	50	N-R-F	5,88

N = sin orificios / F = orificios planos / R = orificios embutidos / RO = embutido en el exterior solo

Medida de los refuerzos: 3,0 mm sobre 1 o 3 lados a petición / \* Orificios hendidos para ajustarse a centros de orificios alternos

## **MODIFICACIÓN TAMBOR MOTRIZ Y TAMBOR REENVÍO ELEVADOR DE CANGILONES:**

A continuación, se detallan las modificaciones a realizar en el tambor motriz de un elevador de cangilones propiedad del cliente.

- Adaptación tambor motriz a diferente diámetro de eje:
  - Perforación orificio para eje de diámetro 95mm a 145mm.
  - Limpieza y pintado de las superficies con pintura al RAL 7012.
  - Nuevas fijaciones tipo tollabrock.
  - Material empleado: Acero al carbono ST-37.
- Nuevo eje con chavetera para tambor motriz:
  - Nuevo diámetro: 145mm
  - Diámetro zona chavetera: 70mm
  - Dimensiones chaveta: 20x12x55mm
  - Longitud eje: 250mm
  - Preparado para unión tipo tollabrock
  - Material: Acero al carbono ST-37
- Nuevo eje para tambor motriz:
  - Nuevo diámetro: 145mm
  - Longitud eje: 250mm
  - Preparado para unión tipo tollabrock
  - Material: Acero al carbono ST-37
- Adaptación tambor reenvío a diferente diámetro de eje:
  - Perforación orificio para eje de diámetro 95mm a 145mm.
  - Limpieza y pintado de las superficies con pintura al RAL 7012.
  - Nuevas fijaciones tipo tollabrock.
  - Material empleado: Acero al carbono ST-37.
- Nuevo eje para tambor reenvío:
  - Nuevo diámetro: 145mm
  - Longitud eje: 250mm
  - Preparado para unión tipo tollabrock
  - Material: Acero al carbono ST-37

Todas las modificaciones especificadas en este documento cumplen con las normativas ISO 9001, ISO 14007, UNE-EN 10027-1:2017, UNE 58-222-87, así como la cualificación necesaria del personal a cargo de la realización de las modificaciones.

Lleida, 11 de mayo de 2020





## DIN 6885 A



- Medidas fuera de norma DIN.  
Dimensions outside DIN standard.  
Dimensions hors norme DIN.  
Medidas fora da norma DIN.

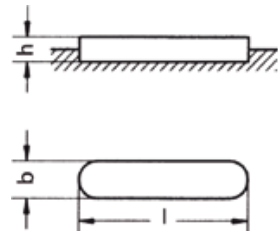
### Ref. ?

ejemplo  
example  
exemple  
exemplo

Ref. = 51A - XX - XX - XXX  
b h l

DIN 6885 A 8x7x50

Ref. = 51A-8-7-50



### INOX

También disponibles en stock en acero inoxidable.  
We also have stainless steel available in stock.  
Également disponible sur stock en inox.  
Também disponíveis em estoque em aço inoxidável.



Otras medidas bajo consulta y en stock.  
Other dimensions in stock and on request.  
Autres dimensions sur demande et en stock.  
Outras medidas, disponíveis sob consulta e em estoque.



Las longitudes en negrita son las más utilizadas.  
Bold numbers represent the most commonly used lengths.  
En noir les dimensions les plus utilisées.  
Os comprimentos em negrito são os mais utilizados.

### Chaveta paralela de ajuste

Parallel keys  
Clavette parallèle d'ajustage  
Chaveta paralela de ajuste

### Acero C45+C (F-114)

Steel C45+C (F-114)  
Acier C45+C (F-114)  
Aço C45+C (F-114)

### Tolerancia b: h9

b Tolerance: h9  
Tolérance b: h9  
Tolerância b: h9

### Tolerancia h: h9 o h11 según DIN 6880

h Tolerance: h9 or h11 according DIN 6880  
Tolérance h: h9 ou h11 suivant DIN 6880  
Tolerância h: h9 ou h11 conforme a norma DIN 6880

### Resistencia mínima a la tracción: 600 N/mm²

Minimum tensile strength: 600 N/mm²  
Résistance minimum à la rupture: 600 N/mm²  
Resistência mínima à tração: 600 N/mm²

b	2	3	4	5		6		8		10		12		14		16		18		20		22		
h	2	3	4	3	5	4	6	5	7	6	8	6	8	6	9	7	10	7	11	8	12	9	14	
I	06	06	08	12	10	14	•10	18	•12	22	•14	28	•20	36	•25	45	•30	50	•45	56	•55	63	•60	
	08	08	10	14	12	16	•12	20	•14	25	•15	32	•22	40	•28	50	•32	56	50	63	56	70	63	
	10	10	12	16	14	18	14	22	•15	28	•16	36	•25	45	•30	56	•35	63	•55	70	•60	80	•65	
	12	12	14	18	•15	20	•15	25	•16	32	•18	40	28	50	•32	63	•36	70	56	80	63	90	70	
	14	14	•15	20	16	22	16	28	18	36	•20	45	•30	56	•35	70	•40	80	•60	90	•65	100	•75	
	•15	•15	16	22	18	25	18	32	20	40	22	50	32	63	36	80	45	90	63	100	70	110	80	
	16	16	18	25	20	28	20	36	22	45	25	56	•35	70	40	90	50	100	•65	110	•75	125	•85	
	18	18	20	28	22	32	22	40	25	50	28	63	36	80	45	100	•55	110	70	125	80	140	90	
	20	20	22	32	25	36	25	45	28	56	•30	70	40	90	50	110	56	125	•75	140	•85	160	•95	
	•22	22	25	36	28	40	28	50	•30	63	32	80	45	100	•55	125	•60	140	80	160	90	180	100	
	•25	25	28	40	•30	45	•30	56	32	70	•35	90	50	110	56	140	63	160	•85	180	•95	200	110	
	•28	28	•30	45	32	50	32	63	•35	80	36	100	•55	125	•60	160	•65	180	90	200	100	220	•120	
	•30	•30	32	50	•35	56	•35	70	36	90	40	110	56	140	63	180	70	200	•95	220	110	250	125	
	•32	32	•35	56	36	63	36	80	40	100	45	125	•60	160	•65		•75		100		•120		•130	
	•35	•35	36		40	70	40	90	45	110	50	140	63		70		80		110		125		140	
	•36	36	40		45		45		50		•55		•65		•75		•85		•120		•130		•150	
				45		50		50		•55		56		70		80		90		125		140		160
				•50		•55		•55		56		•60		•75		•85		•95		•130		•150		•170
						56		56		•60		63		80		90		100		140		160		180
						•60		•60		63		•65		•85		•95		110		•150		•170		200
						•63		63		•65		70		90		100		•120		160		180		220
						•65		•65		70		•75		•95		110		125		•170		200		250
							70		•75		80		100		•120		•130		180			220		
							•75		80		•85		110		125		140		200					
									85		90		•120		•130		•150							
									90		•95		125		140		160							
									•95		100		•130		•150		180							
									•100		110		140		160		•200							
									•110		•120		•150		•180									
									•120		•125		•160		•200									
								•125		•130		•180												
								•130		•140														
								•140		•150														
								•150		•160														
								•180		•200														



b	25		28		32		36		40	45	50	56	63	70	80	90	100
h	9	14	10	16	11	18	12	20	22	25	28	32	32	36	40	45	50
I	70	• 65	80	• 75	90	• 85	100	• 95	110	• 120	140	160	180	200	220	250	280
	80	70	90	80	100	90	110	100	• 120	125	160	180	200	220	250	280	320
	90	• 75	100	• 85	110	• 95	125	110	125	• 130	180	200	220	250	280	320	360
	100	80	110	90	125	100	140	• 120	• 130	140	200	220	250	280	320	360	400
	110	• 85	125	• 95	140	110	160	125	140	• 150	220	250	280	320	360	400	
	125	90	140	100	160	• 120	180	• 130	• 150	160	250	280	320	360	400		
	140	• 95	160	110	180	125	200	140	160	• 170	280	320	360	400			
	160	100	180	• 120	200	140	220	• 150	• 170	180	320	360	400				
	180	110	200	125	220	• 150	250	160	180	200	360	400					
	200	• 120	220	• 130	250	160	280	• 170	200	220	400						
	220	125	250	140	280	• 170	315	180	220	250							
	250	• 130	280	• 150	315	180	355	200	250	280							
	280	140	315	160	355	200	400	220	280	• 320							
		• 150		• 170		220		250	• 320	• 360							
		160		180		250		280	• 360	400							
		• 170		200		280		320	400								
		180		220		320		360									
		200		250		360		400									
		220		280													
		250		320													
		280															



## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Contacte con nosotros **902 50 36 80**

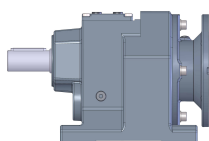
Horario comercial de 8:15 h a 19:00 h

(Lunes a Jueves)

8:30 h a 14:30 h (Viernes)

[cidepa@cidepa-sincron.com](mailto:cidepa@cidepa-sincron.com)

### CRM-87.2 1/30 4



#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Referencia	CRM-87.2 1/30 4
CV Instalados	4,00
Kw Instalados	3,00
Relación	30,0
Accionamiento	Motor Cidepa B-5
Montaje	Patas
Diámetro eje salida	50
Tamaño	87
Factor de servicio	2,70
Par nominal Nm	570,00
RPM salida	50,00
Relación exacta	27,84
F. Radial Fr2 (N)	17.400,00
Número de trenes	2
PVP	2915.36



## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Contacte con nosotros **902 50 36 80**

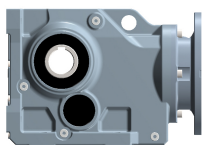
Horario comercial de 8:15 h a 19:00 h

(Lunes a Jueves)

8:30 h a 14:30 h (Viernes)

[cidepa@cidepa-sincron.com](mailto:cidepa@cidepa-sincron.com)

### CKMS-97.3 1/25 7,5



#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Referencia	CKMS-97.3 1/25 7,5
CV Instalados	7,50
Kw Instalados	5,50
Relación	25,0
Accionamiento	Preparado para acoplar motor B-5
Montaje	Patas
Diámetro eje salida	70
Tamaño	97
Factor de servicio	3,75
Par nominal Nm	911,00
RPM salida	59,00
Relación exacta	24,75
Número de trenes	3
PVP	5160.3

### 9.3 Anexo 3 – Sistema de seguridad

# ANEXO 3



## SISTEMA DE SEGURIDAD

- 1- Sensor desvío de banda – Touchswitch TS2V34AI
- 2- Sensor temperatura – WDB810V3AI
- 3- Soporte sensor rotación – Whirligig WG2A-BR
- 4- Conector magnético – MAG2000M
- 5- Sensor de pérdida de velocidad – M3003V10AI
- 6- Sensor de nivel – Autoset ATS6VOA
- 7- Unidad de control – Watchdog WDC4V46CAI
- 8- Panel de venteo – Eleguard
- 9- Apaga-llamas – Eleguard
- 10-Seguridad magnética – Chute Magnet E0015853
- 11-Rueda libre SF-145

## TOUCHSWITCH Belt Misalignment Sensor

### APPLICATION

The Touchswitch is an electro-mechanical limit-switch with no moving parts, that detects the misalignment of both pulleys and belts in conveyors and bucket elevators.

The sensor detects the lateral force of the belt or pulley and activates a voltage free solid state relay contact. This relay contact can be used to send an alarm or shutdown the machine. The sensors are usually installed in pairs on opposite sides of the belt / pulley. The sensors can be connected directly to a PLC input, or for greater safety, to a central independent monitoring system, such as the T500 Hotbus or the Watchdog Super Elite.

### FEATURES

- ▶ Hardened Stainless Steel Sensor Face
- ▶ No Moving Parts
- ▶ Not affected by dust or material built up
- ▶ External Test Function
- ▶ Not a "Rub" Block
- ▶ IP66 Rated

**TS2V34AI**
**U.S. Patent # 6,731,219  
Other Patents Pending**


Part Number	Type	Supply Voltage	ATEX/IECEx	CSA
<b>TS2V34AI</b>	Conduit Entry	12-24Vdc	Zone 20	<b>Not Approved</b>

### COMPATIBLE CONTROL UNITS

Connect the Touchswitch directly to a PLC, or use with the optional *T500 Elite Hotbus* and *Watchdog Elite* digital monitoring systems for conveyors or bucket elevators. Belt alignment, belt speed, bearing temperature, pulley alignment, and plug condition monitoring in one complete standardized system.

**T500 ELITE**

**WATCHDOG SUPER ELITE**

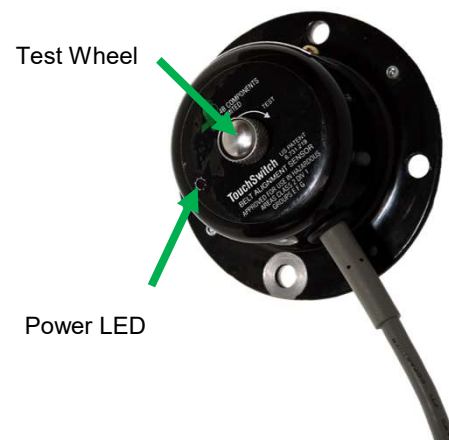
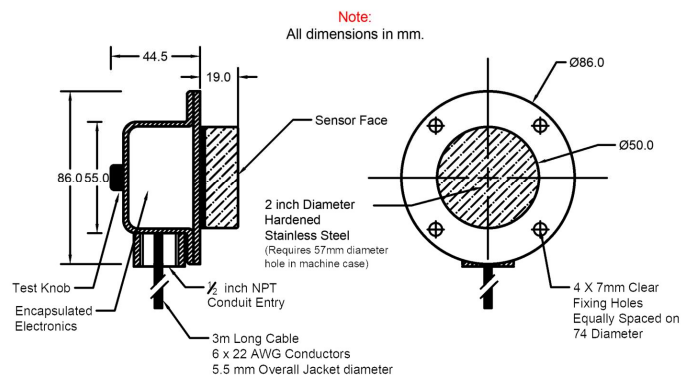
**B400 ELITE**


# TouchSwitch

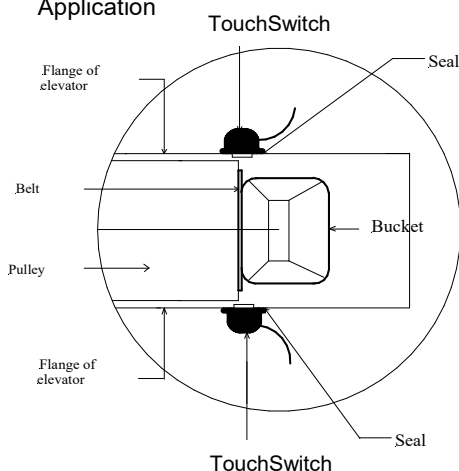
BETTER BY DESIGN

Supply Voltage	12Vdc or 24Vdc (see part numbers)
Supply Current	21mA max
Output	Normally open solid state relay; 50mA @ 240 VAC/VDC (MAX); non-Inductive
Sensor State Indication	Green LED Indicated Power ON and NO Alarm
Cable	6 Core; 3 Meter Long
Sensor Face	Hardened Stainless Steel
Sensor Body	Pressed Seamless Steel with Epoxy Paint
Dimensions	Dia. 89mm x H 45mm
Weight	0.77 kg
Fixing Centres	4 x M6 on 74mm diameter

## DIMENSIONS



### Bucket Elevator Application



### Enclosed Belt Conveyor Application



### Open Belt Conveyor Application



Detailed specification, wiring diagrams and installation/operating instructions available upon request.

Please refer to instruction manual for correct installation.  
Information subject to change or correction. July 2018

## WDB8 Series Bearing Temperature Sensors

### APPLICATION

For use on any application where bearing temperature monitoring is required.

### METHOD OF OPERATION

The WDB 8 series bearing sensors are designed to screw directly into a bearing housing. Each sensor is fitted with a grease zerk to allow lubrication of the bearing without the need for removal of the sensor. The WDB8 series have a 1/4" BSPT thread.

Three versions are available; an NTC thermistor or platinum RTD type for continuous temperature monitoring, and a PTC thermistor model with the following trip points (specify when ordering): 60°C, 70°C, 80°C and 90°C.

The sensor is supplied with a three meter attached cable and can be connected to a PLC or to a hazard monitoring system, such as 4B's T500 Hotbus Elite, Watchdog Elite, or T400 Elite.

The connections are not polarity sensitive therefore special connection requirements are eliminated, and the cable can be extended in the field.



### FEATURES

- ▶ Screw in Positive Mount Installation
- ▶ Grease Zerk for Bearing Lubrication
- ▶ NTC Version - Continuous Temperature
- ▶ PT100 Version - Platinum RTD
- ▶ PTC Version - Trip Points from 50°C to 90°C
- ▶ ATEX Zone 20 and IECEx Approved

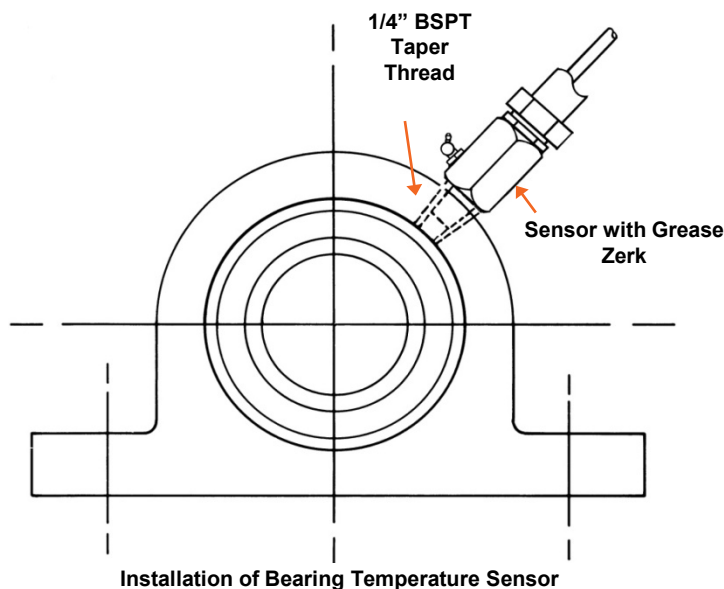
Part Number	Description	Thermistor Type	Thread	ATEX Zone	IECEx
WDB810V3AI	Continuous Temperature Monitoring	NTC	1/4" BSPT	20	✓
WDB819V3AI	Continuous Temperature Monitoring	PT100	1/4" BSPT	20	✓
WDB812V3AI	60°C Trip Point	PTC	1/4" BSPT	20	✓
WDB813V3AI	70°C Trip Point	PTC	1/4" BSPT	20	✓
WDB814V3AI	80°C Trip Point	PTC	1/4" BSPT	20	✓
WDB815V3AI	90°C Trip Point	PTC	1/4" BSPT	20	✓

**Note:** 100°C, 110°C and 120°C Trip Point PTC sensors available on request. ATEX Zone 22; no IECEx



# Bearing Temperature Sensors

BETTER BY DESIGN



Sensor Installed on Conveyor Bearing



Example of Bearing Failure

## TECHNICAL SPECIFICATIONS

### WDB8 Series Bearing Temperature Sensors

NTC Sensors	
Resistance at 25°C:	10,000 Ohms
Resistance at 60°C:	2,487 Ohms
Resistance at 90°C:	916 Ohms
Sensing Voltage:	5 to 24 VDC
Current Draw:	1 mA

PTC Sensors	
Resistance at 60°C:	≤ 250 Ohms
Resistance at Trip Point:	≥ 2,000 Ohms
Sensing Voltage:	5 to 25 VDC
Current Draw:	20 mA

PT100 Sensors	
Resistance at 0°C:	100 Ohms
Resistance at 100°C:	138.4 Ohms
Sensing Voltage:	Via Transducer
Current Limit:	1 mA

**NOTE:** WDB Series 8 sensors have brass bodies and do not have conduit entries.

Temperature Sensors can be used with the following 4B Hazard Monitoring Systems



T500 Hotbus Elite



Watchdog Super Elite - WDC4



T400 and T400 NTC

# Universal Shaft Sensor Mount



## Sensor Installation Made Easy!

### APPLICATION

Fully guarded target for easy mounting of motion sensors.

The 'Whirligig' three in one target/bracket/guard is suitable for all industry standard cylindrical or DIN style inductive sensors including our M100, M300 and M800 speed sensors.

The sensor bolts to the whirligig base plate and the complete assembly bolts to the machines shaft. The installation of speed sensors is now simple, reliable and fully guarded. Shaft or machine vibration does not affect the performance of the sensor, as the whole assembly moves with the shaft.

### METHOD OF OPERATION

- Universal application - Suits all DIN style and industry standard cylindrical sensors
- Easy Installation – Only requires M12 Tapped Hole in the machines shaft or use the MagCon for magnetic connection
- Safe - Fully enclosed targets
- Included brackets for 30mm and 18mm diameter sensors

### PART NUMBERS/ACCESSORIES

<b>WG1A-BR</b>	- Whirligig 1 target
<b>WG2A-BR</b>	- Whirligig 2 target
<b>WG4A-BR</b>	- Whirligig 4 target
<b>WG8A-BR</b>	- Whirligig 8 target
<b>MG1-BR</b>	- Mini-gig 2 target
<b>WG HD</b>	- Heavy Duty Stainless Steel Whirligig
<b>WGB3060</b>	- Whirligig bracket for 90deg. M800
<b>WGB1830</b>	- Whirligig bracket for M18 and M30 sensors
<b>MAG2000M</b>	- MagCon Magnetic Connector

Detailed specification, wiring diagrams and installation/operating instructions available immediately upon request.

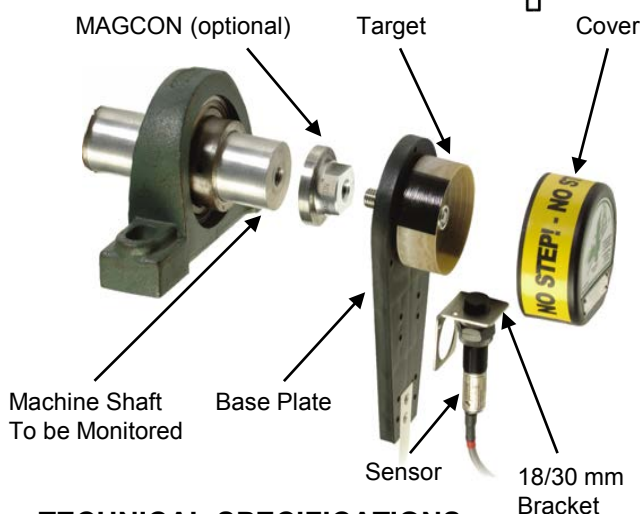
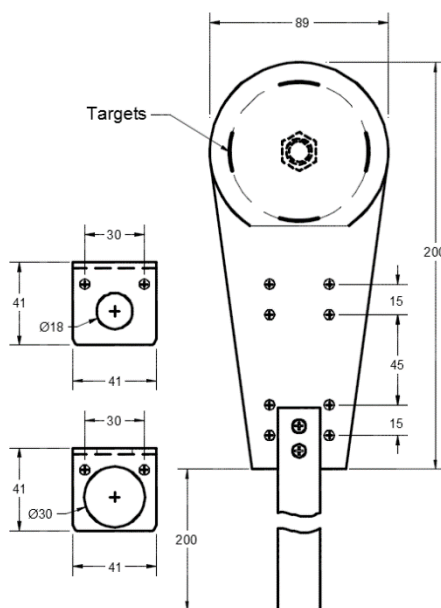
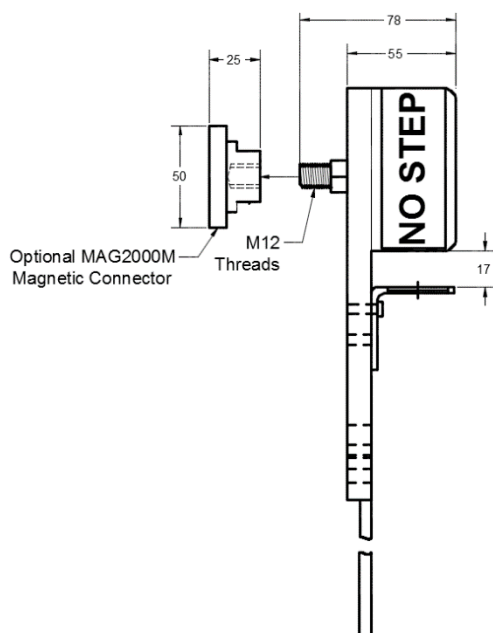


U.S. Pat # 6,109,120



U.S. Pat # 6,964,209





## TECHNICAL SPECIFICATIONS

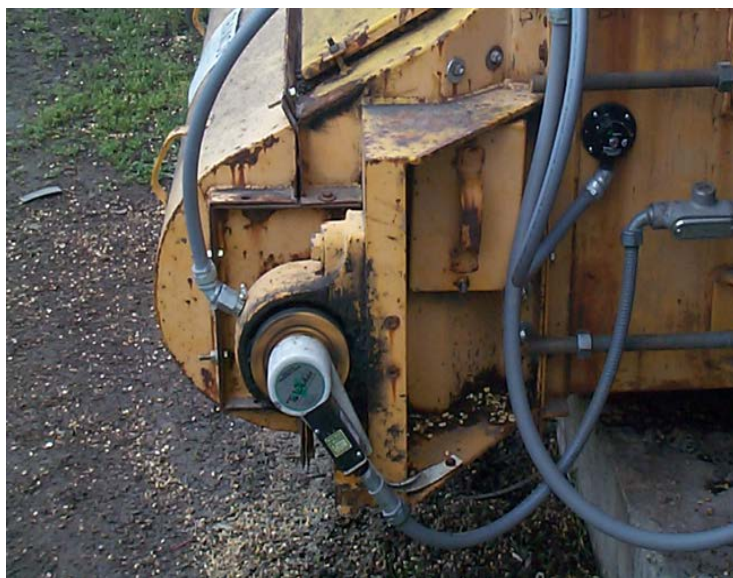
## Whirligig – Universal Shaft Sensor Mount

<b>Shaft Material:</b>	Stainless Steel
<b>Body Material:</b>	Polypropylene
<b>Bearing:</b>	Sealed Heavy Duty Stainless Steel
<b>Mounting Thread:</b>	M12x1.75
<b>Hex Wrench Size:</b>	16mm
<b>Maximum Speed:</b>	1500 RPM
<b>Pulses/ Targets:</b>	Standard 4 Pulses
<b>Available:</b>	1, 2, 4 or 8 pulses

### MagCon - Optional Magnetic Connector

This device screws onto the Whirligig and magnetically couples to the shaft being monitored. Simplifying installation even further.

**Material:** Stainless Steel  
**Holding Force:** Over 660 Newtons  
**Maximum Speed:** 300 RPM



Whirligig installed on an enclosed belt conveyor shown with M800 speedswitch

**INDUCTIVE SPEED SENSOR****Approved for explosive atmospheres:****ATEX and IECEx zones 20, 21, and 22 for dust;****ATEX and IECEx zone 0, 1, and 2 for gas****Application:**

- Detects 20% underspeed condition
- Used for detecting dangerous slow downs and underspeeds on conveyors, bucket elevators, and many other types of machines

**Features:**

- 24-240 VAC/VDC multi voltage power supply
- 2 and 5 wire versions available
- IP 66 rated
- M30 x 1.5 ISO threaded polycarbonate body
- Blue and green LED's showing output state
- 8mm detection range
- Easy calibration with a magnet

**Part numbers:**

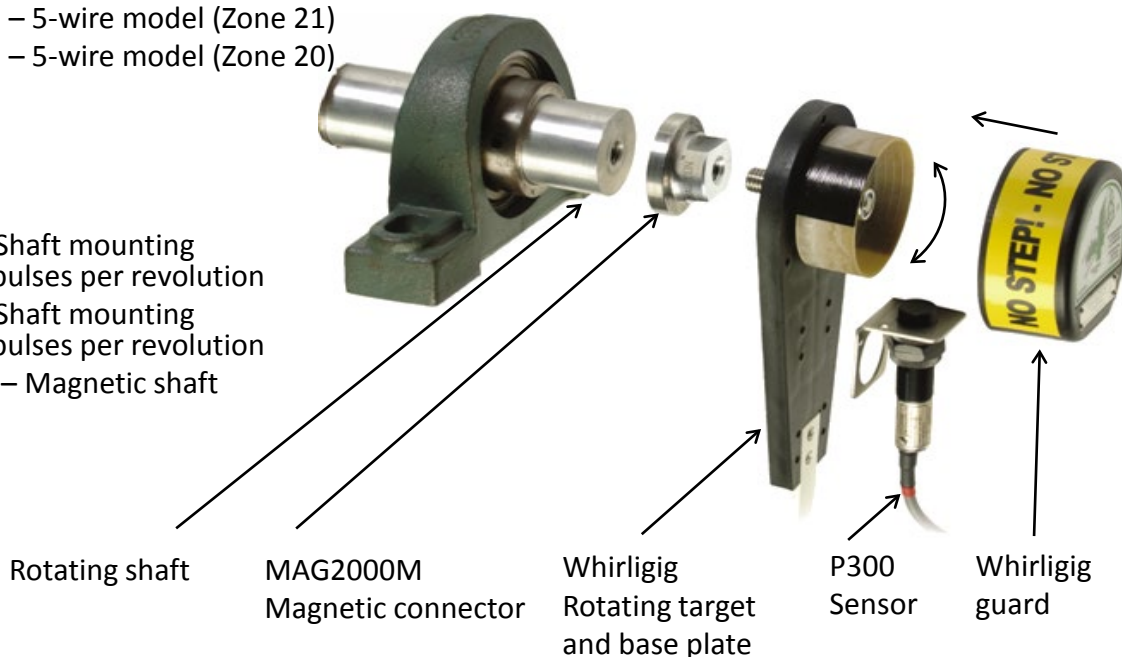
- **M3003V10AI** – 2-wire model
- **M3008V10AI** – 5-wire model (Zone 21)
- **M3007V10AI** – 5-wire model (Zone 20)

**Accessories:**

- **WG4A-BR** – Shaft mounting assembly, 4 pulses per revolution
- **WG2A-BR** – Shaft mounting assembly, 2 pulses per revolution
- **MAG2000M** – Magnetic shaft connector

**M300 Speed Sensor**

Shown with optional Whirligig and Mag-Con

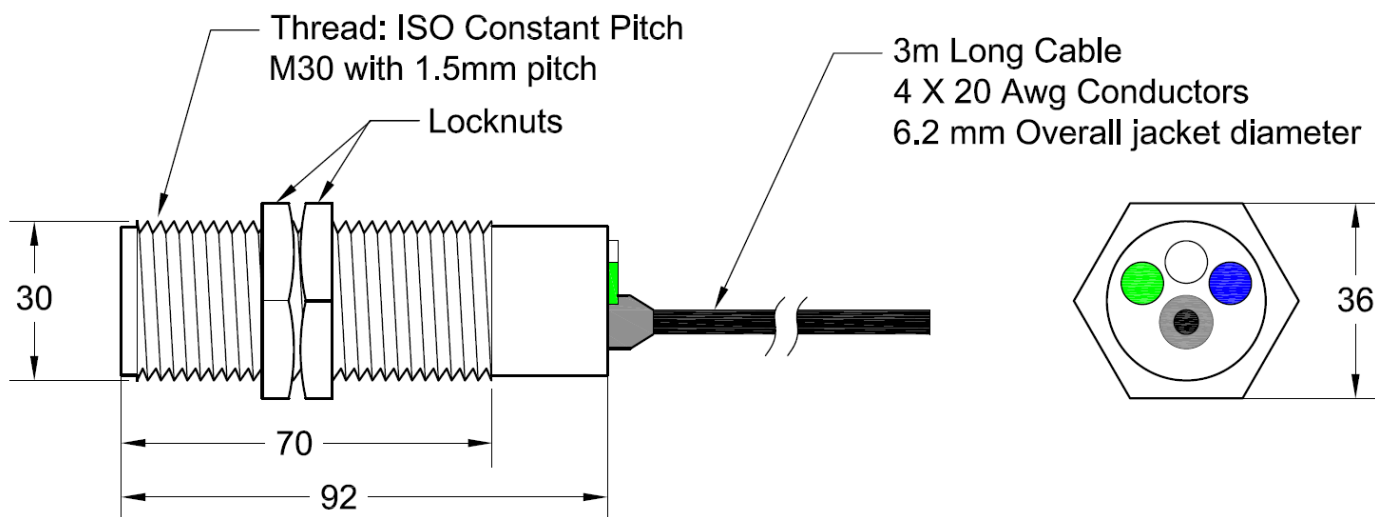


Rotating shaft

MAG2000M  
Magnetic connectorWhirligig  
Rotating target  
and base plateP300  
SensorWhirligig  
guard

**TECHNICAL SPECIFICATIONS**

Model	M3003V10AI	M3008V10AI	M3007V10AI
Power supply	24-240 VAC/VDC	24-240 VAC/VDC	24-240 VAC/VDC
Output	FET	SPCO relay	SPCO relay
Number of wires	2	5	5
Detection range	8 mm	8 mm	8 mm
Speed Range	10 – 3,600 pulses per minute	10 – 3,600 pulses per minute	10 – 3,600 pulses per minute
Start-Up Delay	0 to 30 seconds	0 to 30 seconds	0 to 30 seconds
Switching Capacity	100mA	240VDC/VAC; 3A	60VDC/VAC; 3A
Operating temperature range	-15°C to +50°C	-15°C to +50°C	-15°C to +50°C
Certificates and approvals	ATEX and IECEx Zone 20, Zone 0	ATEX and IECEx Zone 21, Zone 1	ATEX and IECEx Zone 20, Zone 0
Protection	IP66	IP66	IP66

**DIMENSIONS**

Note: All dimensions are given in mm.

## Radio Frequency (RF) Capacitance Point Level Indicator

### APPLICATION

The Auto-Set series RF capacitance point level monitors are used for detecting high, intermediate, or low levels of liquids, powders and free flowing granular solids stored in tanks, bins, silos or other containers.

### METHOD OF OPERATION

The Auto-Set series incorporates simple push-button calibration with microprocessor enable/disable switch for total protection of stored values. Once the Auto-Set is calibrated for the application it never has to be re-calibrated. Data is stored in non-volatile memory so it is not affected by power loss.

A four digit LED display shows set values for uncovered, covered and trip settings, allowing simple set-up and adjustment. A set of voltage-free changeover relay contacts are actuated when the level of the material in the container reaches the probe. The unit incorporates a unique power shield which automatically compensates for material build-up around the probe and on the sides of the container, preventing false indication. The solid state electronics are housed in a weatherproof, flame retardant, glass-reinforced nylon enclosure.

The Auto-Set series can be top or side mounted, and are available with 100mm, 200mm, 1m, or 2m 316 solid stainless steel probes. For applications up to 10m long (maximum), 304 stainless steel wire is used to extend the probe length. The Auto-Set can be used with container walls up to 270mm thick.

### FEATURES

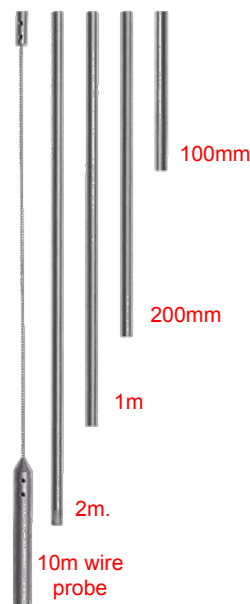
- ▶ High and Low Level Fail Safe Indication
- ▶ Multi-Voltage (110/240 VAC or 24 VDC)
- ▶ Push Button Calibration
- ▶ Digital Display & Internal Timer
- ▶ 100mm to 10m Probe Lengths
- ▶ Power Shield Compensates for Material Build-Up on Probe
- ▶ Remote Models for High Temperature or Vibration Areas
- ▶ Flush Probe Version for Close Fitting Applications

### PART NUMBERS/ACCESSORIES

- ▶ ATS6V0A Auto-Set - Walls Up To 75mm Thick
- ▶ ATS6V0A-300 Auto-Set - Walls 75 to 270mm Thick
- ▶ ATSP10 316 Stainless Steel Probe, 100mm Length
- ▶ ATSP11 316 Stainless Steel Probe, 200mm Length
- ▶ ATSP12 316 Stainless Steel Probe, 1m Length
- ▶ ATSP13 316 Stainless Steel Probe, 2m Length
- ▶ ATSWP11 316 Stainless Steel Probe wire probe, 10m Length, can be cut to length required
- ▶ SMP Mounting Plate (Stainless Available)

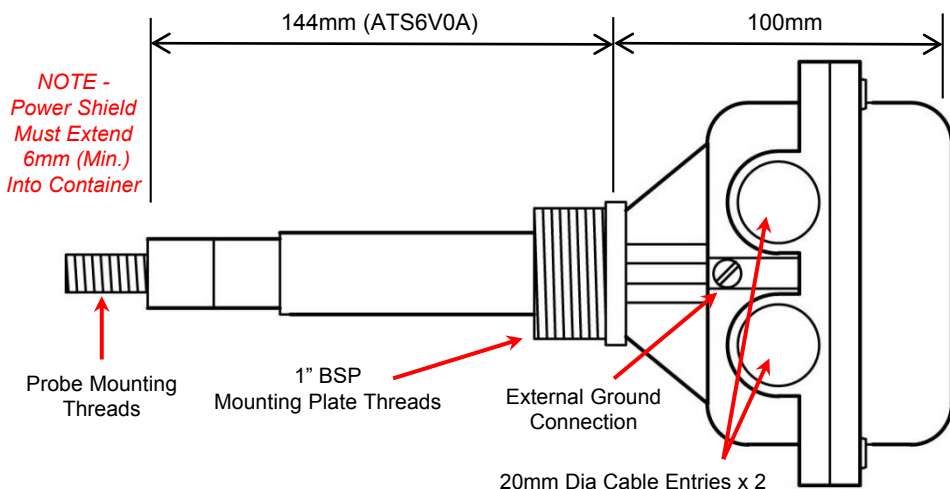


Auto-Set™

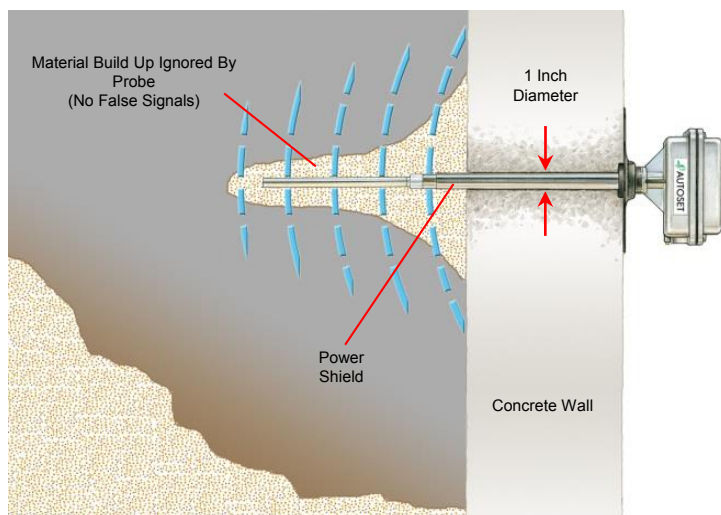

SMP  
Mounting  
Plate


ATEX Approved

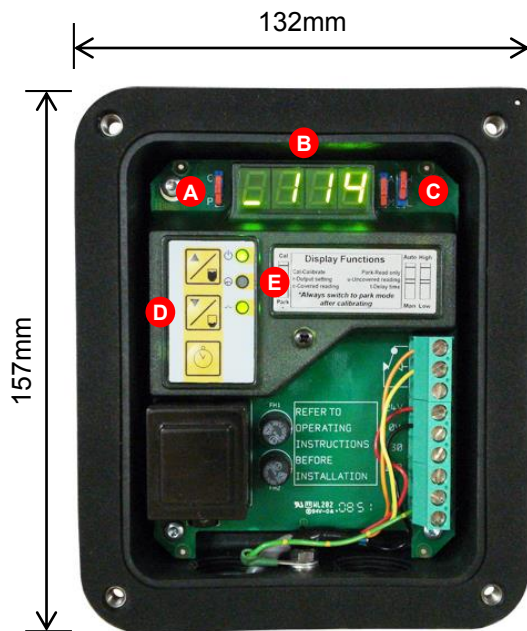




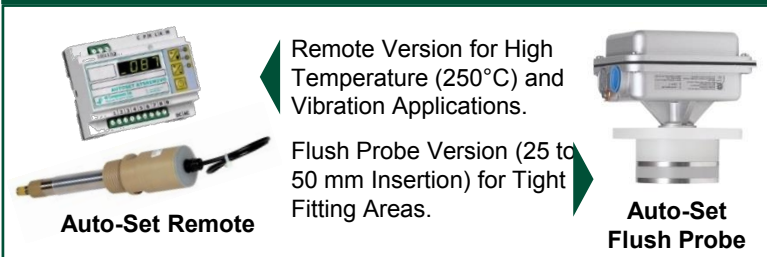
### POWER SHIELD OVERVIEW



The power shield creates a barrier and enables the unit to ignore material built up on the probe, preventing false readings. Installation through thick concrete silos only requires a one inch diameter hole for probe insertion.



### OTHER MODELS AVAILABLE



Please refer to instruction manual for correct installation. Information subject to change or correction. Jan 2018

## TECHNICAL SPECIFICATIONS

### Auto-Set™ RF Capacitance Point Level Indicator

MODELS: ATS6V0A, ATS6V0A-300	
<b>Power Supply:</b>	120/240 VAC or 24 VDC (Universal Supply)
<b>Operating Temperature:</b>	-20°C to +50°C
<b>Sensitivity:</b>	0.5 Pico Farad
<b>Output:</b>	1 Set of Voltage-Free Changeover Relay Contacts
<b>Fail Safe (Selectable):</b>	Low Level (Energized When Covered) High Level (Energized When Uncovered)
<b>Calibration:</b>	Push Button (With or Without Material)
<b>LED Display:</b>	Measured Values (Covered, Uncovered, Trip)
<b>LED Indicator:</b>	Material Detection
<b>Time Delay:</b>	0 - 60 Seconds
<b>Power Shield:</b>	Request Autocad Drawing
<b>Probes:</b>	Stainless Steel (100mm to 10m)
<b>Conduit Entry:</b>	1" BSP
<b>Enclosure</b>	Flame Retardant, Glass Reinforced Nylon
<b>Protection:</b>	IP65, NEMA 4
<b>Approvals:</b>	ATEX and IECEx Zone 20

# Watchdog Super Elite – WDC4

BETTER BY DESIGN

## Watchdog™ Super Elite

### Bucket Elevator & Conveyor Hazard Monitor

#### APPLICATION

Combined belt alignment, belt speed, continuous bearing temperature, pulley alignment and plug condition monitor for bucket elevators and conveyors.

#### METHOD OF OPERATION

A complete elevator and conveyor monitoring system with inputs for most of the types of sensors standard in the industry. Offers top-of-the-class flexibility and machine monitoring.

Unprecedented user friendliness via a 3.5" full color bespoke design graphics screen. Controller settings can be set up either directly on the unit or via a PC application and transferred between the WDC4s and PC via a SD card. In-built Ethernet port with full support for the Hazardmon.com -cloud based monitoring service.

#### FEATURES

- ▶ Belt Speed Monitoring (Single and Differential Speed)
- ▶ Belt Alignment Monitoring (Contact, Pulsed and Rub Blocks)
- ▶ Bearing Temperature Monitoring
- ▶ Pulley Alignment Monitoring
- ▶ Plug Condition Monitoring
- ▶ Acceleration Monitoring
- ▶ Jog Prevention
- ▶ 3.5" Colour Graphics LCD Display
- ▶ SD Card for Settings Save / Restore and Firmware Updates
- ▶ Ethernet RJ45 Port
- ▶ Hazardmon.com support for real-time remote monitoring and historical analysis

#### WATCHDOG PART NUMBERS

- ▶ WDC4V46CAI Multi-Voltage Model  
(110Vac, 240Vac 50/60Hz and 24Vdc)
- ▶ WDC4V4CAI 24Vdc only Model

#### ACCESSORIES

- ▶ P3001V34AI P300 Speed Sensor
- ▶ WG4A-BR Whirligig Speed Sensor Mount
- ▶ MAG2000M Magnetic Shaft Mount for the Whirligig
- ▶ TS1V4AI Touchswitch - Belt Alignment Sensor
- ▶ WDA3V34CAI WDA Motion Alignment Sensor  
(Belt Alignment Alternative)
- ▶ ADB810V3AI Adjustable Depth Bearing Temperature Sensor  
(NTC)
- ▶ WDB70V3AI Lug Type Temperature Sensor (NTC)
- ▶ BS15V10AI Binswitch - Plug Condition Detection
- ▶ ATS6V0A Autoset - Plug Condition Detection (Alternative)



Please refer to instruction manual for correct installation.  
Information subject to change or correction. March 2017

# Watchdog Super Elite – WDC4

BETTER BY DESIGN

## Bucket Elevator Application A (Plastic Or Steel Elevator Buckets)

### Belt Misalignment



#### Touchswitch -

Contact type electro-mechanical limit-switch with no moving parts, which detects tracking and misalignment problems.

6

### Plug Condition



#### Binswitch -

Capacitance style sensor that can detect plugged spouts, inlets and outlets.

3

#### Autoset -

Heavy duty capacitance style sensor with automatic material build up compensator that can detect plugged spouts, inlets and outlets.



8

### Bearing & Surface Temperature



#### ADB & WDB Series -

1. Grease through, positive mounting, NTC thermistor with user adjustable trip points. ADB series has adjustable depth probes.
2. Surface mount NTC thermistor designed to bolt onto a bearing or gearbox housing.

1

### Speed Monitoring



#### Speed Sensor -

Industry standard inductive sensor for detecting belt slip conditions. Shown on boot shaft with the optional Whirligig target/bracket/guard for easy installation.

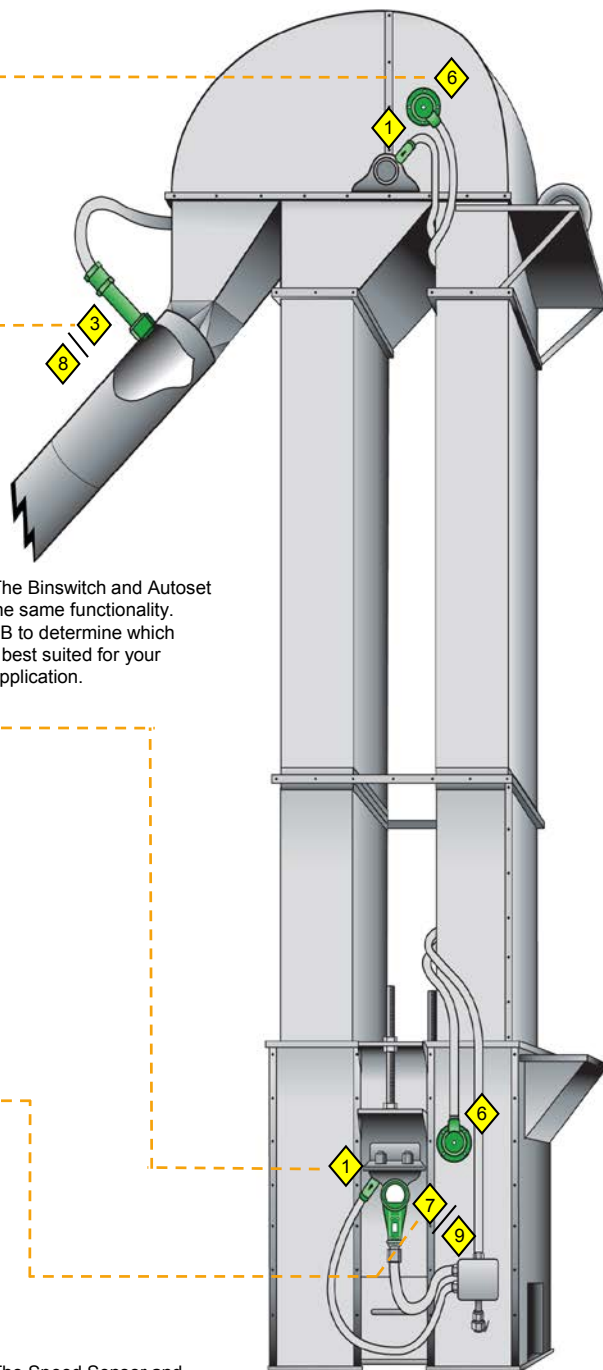
7

#### Rotech Encoder -

Heavy duty option for monitoring underspeed and belt slip conditions. Made from cast aluminum, the Rotech is used in the most severe industrial environments.



9



**NOTE:** The Binswitch and Autoset provide the same functionality. Consult 4B to determine which sensor is best suited for your specific application.

**NOTE:** The Speed Sensor and Rotech Encoder provide the same functionality. Consult 4B to determine which sensor is best suited for your specific application.



# Watchdog Super Elite – WDC4

BETTER BY DESIGN

## Bucket Elevator Application B (Steel Elevator Buckets)

### Motion (Speed) & Alignment



#### WDA Sensor -

Non-contacting extended range sensor used to detect targets which are up to 75mm (3 inches) from the sensor. High temperature version available (150°C continuous, 180°C max.).

5

### Plug Condition



#### Binswitch -

Capacitance style sensor that can detect plugged spouts, inlets and outlets.

3

#### Autoset -

Heavy duty capacitance style sensor with automatic material build up compensator that can detect plugged spouts, inlets and outlets.



8

### Bearing & Surface Temperature

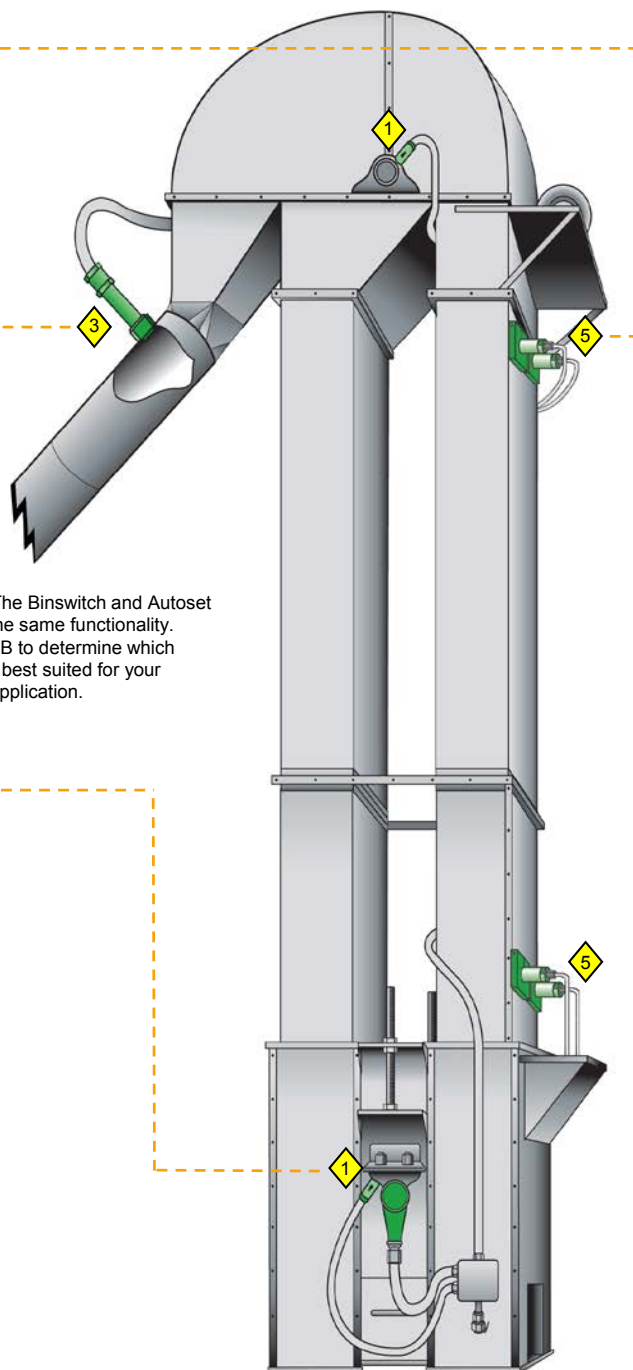


#### ADB & WDB Series -

1. Grease through, positive mounting, NTC thermistor with user adjustable trip points. ADB series has adjustable depth probes.
2. Surface mount NTC thermistor designed to bolt onto a bearing or gearbox housing.

1

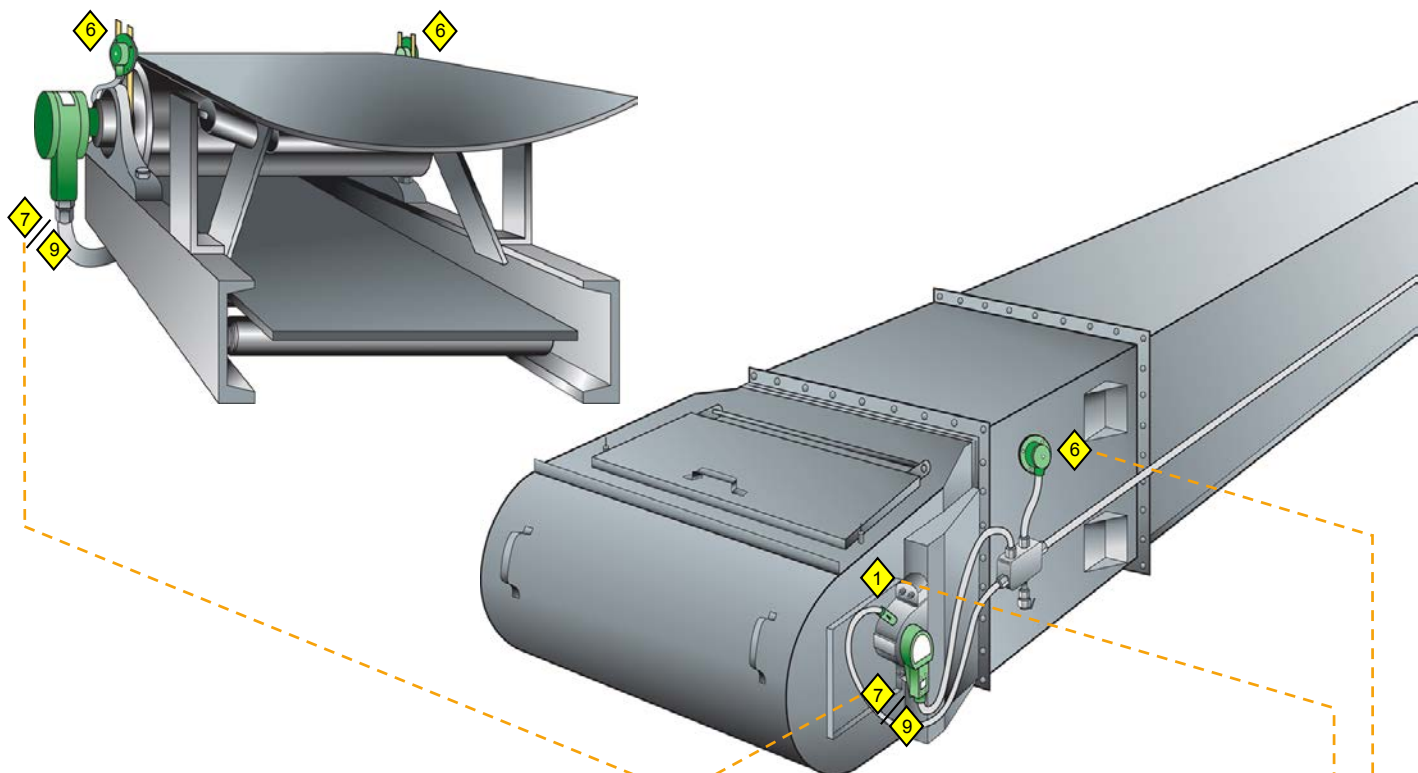
**NOTE:** The Binswitch and Autoset provide the same functionality. Consult 4B to determine which sensor is best suited for your specific application.



# Watchdog Super Elite – WDC4

BETTER BY DESIGN

## Standard Conveyor Application (Open & Enclosed)



### Speed Monitoring



#### Speed Sensor -

Industry standard inductive sensor for detecting belt slip conditions. Shown on boot shaft with the optional Whirligig target/bracket/guard for easy installation.

#### Rotech Encoder -

Heavy duty option for monitoring underspeed and belt slip conditions. Made from cast aluminum, the Rotech is used in the most severe industrial environments.



**NOTE:** The Speed Sensor and Rotech Encoder provide the same functionality. Consult 4B to determine which sensor is best suited for your specific application.

### Bearing & Surface Temperature



#### ADB & WDB Series -

1. Grease through, positive mounting, NTC thermistor with user adjustable trip points. ADB series has adjustable depth probes.
2. Surface mount NTC thermistor designed to bolt onto a bearing or gearbox housing.

### Belt Misalignment



#### Touchswitch -

Contact type electro-mechanical limit-switch with no moving parts, which detects tracking and misalignment problems.

# Watchdog Super Elite – WDC4

BETTER BY DESIGN

## TECHNICAL SPECIFICATIONS



### Watchdog Control Unit

<b>Power Supply:</b>	WDC4V46CAI - 110 VAC, 240 VAC (50/60 Hz) and 24 VDC WDC4V4CAI - 24VDC ONLY
<b>Power Consumption:</b>	12 Watts
<b>Alarm &amp; Stop Relay:</b>	2 x Pole Normally Open - 8A @ 250 VAC Voltage Free Changeover
<b>Sensor Inputs:</b>	15 (Expandable to 27 with Auxiliary Boards)
<b>Sensor Supply:</b>	24 VDC @ 800 mA (Across F1, F2 and F3)
<b>Speed Range:</b>	120 - 4,000 Pulses/Minute
<b>Construction:</b>	Polycarbonate Enclosure with IP66 / NEMA 4X
<b>Dimensions:</b>	298 x 241 x 133 (mm) / 11-3/4 x 9-1/2 x 5-1/4 (inches)
<b>Enclosure Holes:</b>	2 holes x 25mm Diameter
<b>Approvals:</b>	<p><b>V46</b> ATEX and IECEx: Zone 22 CSA: CLII DIV2 Groups F &amp; G InMetro (Brazil), CnEx (China)</p> <p><b>V4</b> ATEX and IECEx: Zone 21 CSA: CLII DIV1 Groups E,F &amp; G InMetro (Brazil), CnEx (China)</p>

### PROTECCIÓN DE ELEVADORES DE CANGILONES TIPO ELEGUARD

#### DESCRIPCIÓN

Los elevadores de cangilones se utilizan ampliamente en los sistemas de manejo de productos a granel, donde el riesgo de explosiones de polvo siempre está presente. Fike ha desarrollado una serie de paneles de venteo de explosión con características de instalación muy sencillas, diseñados para su uso en elevadores. La gama de paneles de venteo de explosión "EleGuard" ofrece una atractiva solución técnica y comercial para la protección del elevador.

El panel de venteo de explosión tipo EleGuard ha sido diseñado conforme a los requisitos especificados por la Directiva ATEX 100a, y ha sido desarrollado específicamente para ofrecer el venteo de explosión en aplicaciones con elevadores de cangilones.

#### CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS

- Eficiencia de venteo del 100%
- Presión de ruptura certificada
- No requiere mantenimiento
- Alto índice operativo
- Diseño a prueba de fallos
- No fragmentable
- Fácil instalación



#### APROBACIONES:

- EAC
- ATEX



## ESPECIFICACIONES

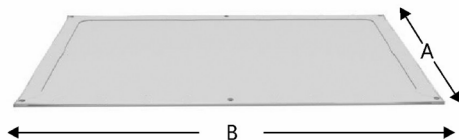
Tipo	EleGuard						
Tamaños nominal (mm)	110 x 330	170 x 470	170 x 560	220 x 740	270 x 458	300 x 500	350 x 650
Area de alivio (m²)	0,036	0,079	0,094	0,162	0,123	0,149	0,227
Materiales de construcción	1.4301 (304 acero inox) con sello de silicona FDA y junta de neopreno FDA						
Presión de ruptura (mbarg)	100	50 – 100					
Tolerancia de presión de ruptura	± 15mbarg						
Máx. presión operativa de vacío	Atmosférica (25% del índice operativo)						
Rango de temperatura en funcionamiento <sup>1</sup>	de -20°C hasta 60°C						
Certificados	IBExU03ATEX2058 X						

(1) Consulte a Fike para temperaturas de funcionamiento inferiores a los -20°C o superiores a los 60°C.

El panel de venteo EleGuard puede entregarse equipado con un indicador eléctrico de ruptura tipo circuito de control. Recomendamos un Ex-Cover para el aislamiento térmico/acústico. Consulte con Fike si desea obtener más detalles.

## DIMENSIONES ESTÁNDAR

Tamaño nominal	Área di Alivio	Dimensiones exteriores	Pernos		
mm	m²	mm (Ax B)	Cant.	Diám. Del orif.	Tamaño
110 x 330	0,036	198 x 418	6	14	M10
170 x 470	0,079	258 x 558	6	14	M10
170 x 560	0,094	258 x 648	6	14	M10
220 x 740	0,162	308 x 828	8	14	M10
270 x 458	0,123	358 x 546	6	14	M10
300 x 500	0,149	388 x 588	6	14	M10
350 x 650	0,227	438 x 738	6	14	M10



Patente U.S. 7,234,278 y Patentes Extranjeras.



**DISPOSITIVO DE VENTEO APAGALLAMAS  
TIPO ELEQUENCH****DESCRIPCIÓN**

Fike ha desarrollado un dispositivo de venteo apagallamas para elevadores de cangilones denominado EleQuench. El propósito de este dispositivo es permitir que el venteo convencional pueda tener lugar en el interior de instalación por lo que no se liberan llamas o producto hacia el exterior. A través de un amplio programa de pruebas y mejoras de producto, Fike ha conseguido un dispositivo apagallamas especial que puede acoplarse directamente sobre el panel de venteo EleGuard.

**CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS**

- Tecnología apagallamas en combinación con paneles de venteo rectangulares del tipo EleGuard
- Evita la necesidad de conductos de venteo
- Venteo convencional en el interior del edificio sin liberar llamas o producto al exterior
- Mínimo mantenimiento
- Fácil instalación
- Certificados: CE, ATEX y EAC
- Protector de inclemencias meteorológicas que previene la entrada de polvo en malla de acero inoxidable


**CERTIFICACIÓN:**

- CE
- ATEX
- EAC

## ESPECIFICACIONES

<b>Tipo</b>	EleQuench
<b>Materiales de construcción</b>	Malla del apagallamas: Acero inoxidable Cuerpo: Acero al carbono
<b>Paneles de venteo</b>	EleGuard
<b>Condiciones operativas</b>	No está expuesto a las condiciones del proceso
<b>Límites de aplicación</b>	Polvos orgánicos no metálicos con temperaturas de llama de $K_{st}$ de hasta 150 bar m/s $P_{red}$ : 1 bar
<b>Perímetro de seguridad</b>	Igual al diametro equivalente del área de venteo del dispositivo Debe prevalecer la legislación local
<b>Certificados</b>	ATEX y CE

## OPCIONES

<b>Opción</b>	 Protector
<b>Materiales de construcción</b>	Alpha Maritex paño de fibra de vidrio recubierto de silicona de doble cara
<b>Temperatura máxima</b>	150°C

## DIMENSIONES

EleQuench	Dimensione	Peso aprox.	En combinación con panel de venteo EleGuard		Especificación de tornillos (pernos, tuercas y arandelas no incl.)		
Fike part #	L x W x H	Kg	Fike dwg #	Tamaño nominal	Cant.	Longitud (mm)	Tamaño
34604900	576 x 306 x 361	19	345048	170 x 470	6	50	M10
34607900	846 x 356 x 443	33	345078	220 x 740	8	50	M10
34600900	564 x 404 x 516	27	345008	270 x 458	6	50	M10
34605900	606 x 434 x 567	33	345058	300 x 500	6	50	M10
34603900	756 x 484 x 630	46	345038	350 x 650	6	50	M10



## Chute magnets

SCH-M-N-204x55-0250-B-B-B

SKU: E0015853

## Product Features

<b>Description</b>	Chute magnet
<b>SKU</b>	E0015853
<b>Product key</b>	SCH-M-N-204x55-0250-B-B-B
<b>Min. Fe-particle size that can be caught</b>	0.5 mm
<b>Cleaning/Fe-particles disposal</b>	Manual quick cleaning by means of extractor plate
<b>Magnetic field depth</b>	180 mm
<b>Opening width</b>	250 mm
<b>Opening height</b>	224 mm
<b>Interface/connection dim's</b>	Mounting hole Ø11 mm (4x)
<b>Materials - in contact with product</b>	AISI304 (SS 1.4301)
<b>Material housing</b>	AISI304 (SS 1.4301)
<b>Material gaskets/seals</b>	EPDM, 40° Shore A, FDA approved
<b>Surface treatment/finishing</b>	S1: Grit blasted, Ra 3 µm (interior/exterior)
<b>Welds</b>	WE: product chute: completely welded - outside the product chute: intermittently welded
<b>Max. operating / product temperature</b>	60 °C
<b>Min./max. ambient temperature</b>	-40 to 40 °C
<b>Magnetic system</b>	Permanent Neoflux® magnet
<b>Magnet dimensions</b>	230x204x55 mm
<b>Magnet quality</b>	Neodymium GSN-35, Br 11,200 gauss (at 20 °C), Tmax. 80 °C
<b>Magnet field strength (flux density) (±10%)</b>	5000 gauss



<b>Field strength (flux density) on extractor plate (±10%)</b>	4000 gauss
<b>Depth</b>	127 mm
<b>Width</b>	388 mm
<b>Height</b>	520 mm
<b>Weight</b>	36 kg

## Índice imágenes

Ilustración 1: Elementos de un elevador de cangilones.....	10
Ilustración 2: Tambor motriz elevador de cangilones .....	11
Ilustración 3: Rueda libre con palanca .....	12
Ilustración 4: Dimensiones cangilón .....	12
Ilustración 5: Dimensiones cangilón profundo.....	13
Ilustración 6: Dimensiones cangilón escama.....	14
Ilustración 7: Dimensiones cangilón poco profundo .....	14
Ilustración 8: Dimensiones cangilón sin fondo .....	14
Ilustración 9: Diferentes diseños de tornillos para elevadores de cangilones .....	15
Ilustración 10: Refuerzos cangilón .....	16
Ilustración 11: Reductor corona sin fin .....	18
Ilustración 12: Reductor coaxial.....	18
Ilustración 13: Reductor ortogonal .....	18
Ilustración 14: Reductor ejes paralelos.....	19
Ilustración 15: Reductor pendular .....	19
Ilustración 16: Diferentes tipos de grapas .....	21
Ilustración 17: Tambor reenvío jaula de ardilla.....	25
Ilustración 18: Elevador de cangilones vertical.....	26
Ilustración 19: Elevador de cangilones inclinado.....	26
Ilustración 20: Elevador cangilones en "Z" .....	26
Ilustración 21: Descarga des de tolva y por dragado.....	27
Ilustración 22: Descarga centrífuga, por gravedad o continua (desviada y normal) .....	28
Ilustración 23: Zonas ATEX.....	31
Ilustración 24: Patrón explosión .....	32
Ilustración 25: Sistemas de seguridad .....	33
Ilustración 26: Visión térmica fricción en banda.....	34
Ilustración 27: Sensor Touchswitch .....	34
Ilustración 28: Sensor Rub-bloc .....	35
Ilustración 29: Sensor BAP .....	35
Ilustración 30: Principio detección sensor inductivo .....	36
Ilustración 31: Visión térmica rodamiento .....	37
Ilustración 32: Sensor temperatura punta plana .....	37
Ilustración 33: Sensor temperatura punta extensible .....	37
Ilustración 34: Sensor temperatura punta fija.....	38
Ilustración 35: Grafica temperatura VS resistencia en sensor NTC.....	38
Ilustración 36: Grafica temperatura VS resistencia en sensor PTC comparado con NTC .....	39
Ilustración 37: Grafica temperatura VS resistencia en sensor PT100 .....	40
Ilustración 38: Representación funcionamiento sensor on/off .....	41
Ilustración 39: BSE15V10AI.....	42
Ilustración 40: Roto-safe .....	42
Ilustración 41: Auto-set .....	43
Ilustración 42: Sensor membrana .....	43
Ilustración 43: Desgaste banda elevadora .....	44
Ilustración 44: Whirligig .....	44
Ilustración 45: Marcas detectables Whirligig.....	44
Ilustración 46: Mag2000M .....	45

Ilustración 47: M1003V10AI .....	45
Ilustración 48: M3003V10AI .....	45
Ilustración 49:P1003V10AI.....	46
Ilustración 50: Panel de venteo con sensor de rotura .....	46
Ilustración 51: Comparativa sistema apaga llama .....	47
Ilustración 52: Formas mas comunes de los paneles de venteo .....	47
Ilustración 53: Simulación panel de venteo con sistema apaga llamas .....	48
Ilustración 54: Watchdog.....	48
Ilustración 55: Ubicación sistema seguridad magnética.....	49
Ilustración 56: Campo magnético placa neodimio .....	49
Ilustración 57: Proceso limpieza placa magnética.....	50
Ilustración 58: Chute magnet.....	50
Ilustración 59: Cargas distribuidas sobre tambor motriz .....	53
Ilustración 60: Cargas distribuidas sobre eje tambor motriz .....	53
Ilustración 61: Descarga centrífuga .....	59
Ilustración 62: Diagrama fuerzas proceso descarga material .....	71
Ilustración 63: Diagrama cuerpo libre fuerzas sobre banda elevadora.....	73
Ilustración 64: Grafica par VS velocidad angular motor eléctrico .....	73
Ilustración 65: Colocación rueda libre.....	75
Ilustración 66: Cargas distribuidas sobre tambor motriz .....	75
Ilustración 67: Cargas distribuidas sobre eje tambor motriz .....	76
Ilustración 68: Diagrama S-N acero .....	77
Ilustración 69: Momentos de resistencia, contra flexión, torsión y momentos inercia de distintas secciones de ejes.....	78
Ilustración 70: Fuerzas aplicadas sobre la chaveta .....	80
Ilustración 71: Diagrama cuerpo libre tensiones sobre banda elevadora .....	81
Ilustración 72: Ubicación paneles de venteo .....	89

## Índice tablas

Tabla 1: Valores coeficiente fricción ( $\mu$ ) tambor motriz.....	11
Tabla 2: Como medir un cangilón .....	13
Tabla 3: Aplicaciones cangilones en función del material .....	17
Tabla 4: Propiedades materiales cangilones .....	17
Tabla 5: Rendimiento reductores.....	19
Tabla 6: Factores de servicio en motor-reductores.....	20
Tabla 7: Tensiones de la banda elevadora en función del número de telas .....	22
Tabla 8: Propiedades banda elevadora en función del tipo de recubrimiento .....	22
Tabla 9: Diámetro mínimo banda elevadora según el número de telas .....	23
Tabla 10: Propiedades banda elevadora en función del tipo .....	23
Tabla 11: Bandas elevadoras existentes Refortbelt .....	24
Tabla 12: Zonas ATEX gases .....	31
Tabla 13: Zonas ATEX polvos .....	31
Tabla 14: Resumen características principales sensores desalineación banda .....	36
Tabla 15: Resumen características principales sensores temperatura .....	41
Tabla 16: Parámetros diseño elevador previos al estudio.....	52
Tabla 17: Datos tensión de Von-Mises en los diferentes puntos del tambor motriz .....	53
Tabla 18: Requisitos del estudio.....	56
Tabla 19: Datos a estudiar sobre la tensión de Von-Mises en los diferentes puntos del tambor motriz .....	57
Tabla 20: Fuerzas sobre el tambor motriz .....	76
Tabla 21: Medidas chaveta DIN-6885/1 .....	80
Tabla 22: Valores requeridos calculo área venteo .....	83
Tabla 23: Resultados estudio apartado general .....	85
Tabla 24: resultados estudio apartado cangilones .....	85
Tabla 25: Resultados estudio apartado banda elevadora .....	86
Tabla 26: Resultados estudio apartado elementos motrices .....	86
Tabla 27: Resultados tensión de Von-Mises en los diferentes puntos del tambor motriz .....	87
Tabla 28: Resultados estudio apartado elementos seguridad .....	89
Tabla 29: Comparativa elementos anterior y posteriormente al estudio .....	91
Tabla 30: Comparativa resultados tensión de Von-Mises en los diferentes puntos del tambor motriz .....	92

## Índice graficas

Grafica 1: Momentos flectores iniciales eje tambor motriz .....	54
Grafica 2: Esfuerzos cortantes iniciales eje tambor motriz .....	54
Grafica 3: Momento torsor inicial eje tambor motriz.....	55
Grafica 4: Momentos flectores obtenidos eje tambor motriz .....	87
Grafica 5: Esfuerzos cortantes obtenidos eje tambor motriz .....	88
Grafica 6: Momento torsor obtenido eje tambor motriz.....	88
Grafica 7: Comparativa momentos flectores .....	92
Grafica 8: Comparativa esfuerzo cortante .....	93
Grafica 9: Comparativa momento torsor .....	93